



TITLE:

## 複合パネルの2,3の性質について

AUTHOR(S):

満久, 崇麿; 佐々木, 光; 石原, 茂久; 木本, 馨; 加茂, 弘雄

---

CITATION:

満久, 崇麿 ...[et al]. 複合パネルの2,3の性質について. 木材研究 : 京都大学木材研究所報告 1968, 44: 21-52

ISSUE DATE:

1968-07

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/53025>

RIGHT:

## 複合パネルの2, 3の性質について

満久 崇磨\*・佐々木 光\*・石原 茂久\*  
木 本 馨\*\*・加茂 弘雄\*\*\*

Takamaro MAKU\*, Hikaru SASAKI\*, Shigehisa ISHIHARA\*, Kaoru KIMOTO\*\*, Hiroo KAMO\*\*\*: On Some Properties of Composite Panels

### 緒 言

最近の建築用平面材料の開発は、めざましいもので、一般住宅、ビルディング、船舶などの壁面、天井、床、屋根下地などに、広く用いられている。これらの場合、断熱性、防火性、強度、スタビリティ、居住性および経済性などの諸性質が要求されるが、既存のどの材料をとつてみても、これらの性質のすべてを具えるものはなく、それぞれの材料のもつ特性は、かなり偏つたものである。これを改善し、理想的な性質を具えた材料を作り出すための、1つの方法として、材料の複合が注目されている。

本報告は、市販の代表的な平面材料十数種について、基本的な組合せによる複合パネルを作り、熱伝導率、吸湿による狂い、力学的性質および防火性能を測定し、若干の検討を行なつた結果である。とりあげた複合パネルの構成は、必ずしも実際的な意味のあるものではないが、今後、この種の複合パネルを扱う場合に、基本的な足がかりとなるように、簡明なものを選んだ。各性質における複合効果の本格的な解析は、今後の研究にまつこととし、ここでは、その予備的な資料としたい。

なお、実験結果のとりまとめに尽力頂いた研究室の諸氏に対しここに感謝の意を表する。

### 1. 材 料

#### 1・1 材料と複合構成

材料として、Table 1 に示すような、易燃性8種類、難燃性2種類、準不燃性2種類、不燃性3種類の市販の平面材料を用いた。このほかに、ロックウール系のもの、アスベストシート、ハードボードなどを追加実験したが、資料が十分に揃わなかつたので割愛した。

これらの材料を用いた複合板の構成と製造条件はTable 2の通りである。表に示されているように、複合板は一部を除き、すべて対称構成のサンドイッチ板で、その片面には、化粧用白ラワン突板を接着した。これは、居住性を考慮したもので、この面が直ちに、住宅の内装壁面

\* 木質材料研究部門, Division of Composite Wood.

\*\* 内外木材工業(株), Naigai Wood Industrial Co. Ltd.

\*\*\* 日比貿易(株), Nippi Trading Co. Ltd.

Table 1. Materials used as lamina of composite panel.

Classification of fire protectivity	Materials	Symbols	Nominal thickness (mm)	Spec. grav.
Combustible	White lauan sliced veneer (for decorative face)	V(D)	0.3	0.63
	Lauan plywood	Pl	6.0, 21.0	0.63
	Wood fiber insulation board	IB	9.0, 12.0	0.26
	Particle board	PB	22.0	0.67
	Bagasse particle board	BaB	25.0	0.36
	Paper honeycomb	Hc	9.0, 15.0	0.026
	Polystyrene foam	St	9.0, 15.0	0.013
Nonflammable	Lauan plywood (treated with fire retardant agent)	Pl(FR)	4.0	0.63
	Particle board (treated with fire retardant agent)	PB(FR)	22.0	0.64
Semi-incombustible	Cemented excelsior board	ExB	9.0, 12.0	0.67
	Gypsum board	GyB	9.0	0.90
Incombustible	Aluminium plate	Al	1.0	2.50
	Perlite board	Per	9.0	0.97
	Asbestos-cement board	AsC	4.0	1.78

に相当するものと仮定し、特別に調整した防火薬剤を混入した接着剤を用い、その難燃効果を調べるとともに、反りに対する影響を調べた。

また、No. 1, 2, 9, 10, 13, 14, 15 の各パネルは、単体の平面材料に、単に突板を貼つただけのもので、複合パネルとはいえないかも知れないが、船舶方面の間仕切り壁などに実用的な面があるので、一応複合パネルの範ちゅうに入れた。

## 1・2 複合パネルの作製

上記の材料を、室内に1カ月以上静置し、気乾状態に達した後、60×60cm に切断し、まず、サンドイッチ板の作製を行なつた。接着条件は、すでに Table 2 に示した通りである。同表において、アスベスト・セメント板、アルミニウム板、木毛セメント板などの接着に用いたエポキシ樹脂は、変性されたもので、すでに、実用的な価格となつている。また融点の関係から熱圧できない発泡ポリスチレンは、酢ビ・尿素の混合樹脂接着剤で、その混合比率は、2:10、硬化剤として塩化アンモンを1.4%加え、約 1kg/cm<sup>2</sup> の圧力で常温接着した。

つぎに、基材と突板の接着であるが、Table 2 の欄外に示したように、酢ビ・エマルジョン接着剤 (70部)、尿素・メラミン共縮合接着剤 (30部)、小麦粉 (30部) に、ハロゲン系、アミン系などの混合調整された特別の防火薬剤 (30部) を混合した接着剤を用い、それぞれのパネルに適した圧縮圧で接着した。

このようにして、Table 2 に示すような No. 1~No. 15 の15種類の複合パネル (60×60cm) を、それぞれ6枚ずつ、計90枚作製した。

## 1・3 試験の種類と試験片

試験の種類は、これらのパネルを、壁面、天井、床面などに使用した場合に必要な、性質の

Table 2. Gluing of surface materials and core of composite panels.

Panel No.	Construction of composite panel* <sup>1</sup>				Gluing face-core-face of base panel* <sup>2</sup>					Nominal thickness of panel	Observed thickness of panel
	Decorative face material	Base panel			Adhesive	Spread (g/ft <sup>2</sup> )	Temperature (°C)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Time (min.)		
		Face	Core	back							
1	V(D), 0.3	—	PI, 21.0	—	—	—	—	—	—	21.3	21.3
2	V(D), 0.3	—	PB, 21.0	—	—	—	—	—	—	22.3	22.3
3	V(D), 0.3	AsC, 4.0	IB, 9.0	AsC, 4.0	Epo.* <sup>3</sup>	25	115	2	12	17.3	15.7
4	V(D), 0.3	Al, 1.0	IB, 12.0	Al, 1.0	Epo.	25	115	2	10	14.3	12.8
5	V(D), 0.3	PI(FR), 4.0	Hc, 9.0	PI(FR), 4.0	Epo.	25~30	115	0.7~1	10	17.3	17.7
6	V(D), 0.3	Al, 1.0	Hc, 15.0	Al, 1.0	Epo.	25	115	0.7~1	7	17.3	16.7
7	V(D), 0.3	PI(FR), 4.0	St, 9.0	PI(FR), 4.0	PVAc-U* <sup>4</sup>	25	15	0.05	—	17.3	17.6
8	V(D), 0.3	Al, 1.0	St, 15.0	Al, 1.0	PVAc-U	20~25	15	0.05	—	17.3	17.5
9	V(D), 0.3	—	PI(FR), 22.0	—	—	—	—	—	—	22.3	22.3
10	V(D), 0.3	—	PB(FR), 22.0	—	—	—	—	—	—	22.3	22.3
11	V(D), 0.3	PI(FR), 4.0	ExB, 12.0	PI(FR), 4.0	Epo.	30~35	115	4	12	20.3	17.9
12	V(D), 0.3	AsC, 4.0	ExB, 12.0	AsC, 4.0	Epo.	30~35	115	7	15	20.3	20.0
13	V(D), 0.3	—	GyB, 9.0	—	—	—	—	—	—	9.3	9.4
14	V(D), 0.3	—	PerB, 9.0	—	—	—	—	—	—	9.3	9.2
15	V(D), 0.3	—	BaB, 25.0	—	—	—	—	—	—	25.3	25.7

\*1: Meaning of symbols is given in Table 1, and number indicates nominal thickness of the lamina.

\*2: Gluing decorative face material to base panel was done as follows:

Adhesives: Mixture of polyvinyl-acetate adhesives (70 parts), urea-melamine adhesives (30 parts), wheat flour (30 parts) and a kind of fire retardant agent (30 parts).

Spread: 20~25 g/ft<sup>2</sup>.

Pressing: 110°C, 30 min.

Pressure: 8 kg/cm<sup>2</sup> for panels of No. 1, 2, 9, 10, 11, 12; 5kg/cm<sup>2</sup> for panels of No. 13, 14, 15; and 2 kg/cm<sup>2</sup> for panels of No. 3, 4.

\*3: Modified epoxy resin adhesives.

\*4: Mixture of polyvinyl-acetate and urea resin adhesives.

Table 3. Kind of test and shape, size and number of specimen.

Kind of test	Shape and size of specimen	Number of specimen
Thermal conductivity	20 cm Circular plate	3
Warp	50×50 cm Square plate	3*5
Bending strength and Modulus of Elasticity	Short span	3
	Long span	3
	Short span	3
	Long span	3
Fire protectivity	30×30 cm Square plate	3

\*1: Bending in the direction parallel to grain of decorative sliced veneer.

\*2: Bending in the direction perpendicular to grain of decorative sliced veneer.

\*3: The span is 17 times as large as the thickness of specimen h(mm).

\*4: 55 means the span of bending.

\*5: Except for panels No. 4, 6, 8.

うち、基本的なものとして、熱伝導率、水分傾斜による板の狂い、力学的性質および防火性能の4つに限った。

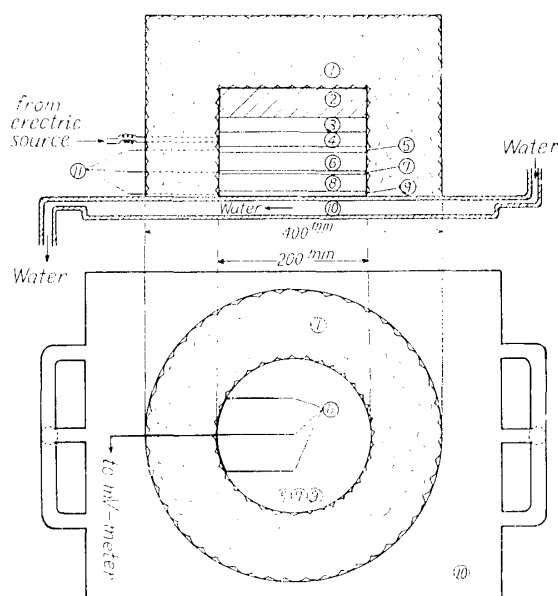
試験片は次のようにして採取された。すなわち、上記の複合パネルを、約2カ月間、風通しのよい室内に静置し、気乾状態になった後、端辺から約2cmの部分を持ち捨て、残り56×56cmの部分から、Table 3に示す寸法・形状の試験片をそれぞれ採取した。

## 2. 熱 伝 導 率

複合材料の熱伝導率は、素材料の熱伝導率から、理論的に導くことができる<sup>2,10)</sup>。ここでは、素材料の熱伝導率と、複合後のパネルの平均熱伝導率を測定し、理論の適合性を検討した。

### 2・1 実験方法<sup>1,2)</sup>

測定は、比較法によった。Fig. 1はその装置の模式図である。図において、熱板④には、ニクロム線を包み込んだ銅板を用い、スタビライザーとスライダックスによつて、発熱量の調節を行なつた。試料加圧用鉄盤②は試験板と銅板の密着性をよくするためのもので、軽量コアをつパネルの場合は5kg、他は10kg程度のものを用いた。⑤⑦⑨の銅板は、平面的な温度むらを避けるためのもので、銅の熱伝導率が、パネルの熱伝導率に比して、極めて大きいことから、厚さ方向の温度傾斜は無視できるものとし、その上下の界面の温



- ① Glass wool
- ② Steel weight
- ③ Asbestos plate
- ④ Hot plate
- ⑤ Copper plate
- ⑥ Specimen
- ⑦ Copper plate
- ⑧ Control specimen
- ⑨ Copper plate
- ⑩ Cold plate
- ⑪ Thermo couple

Fig. 1. Apparatus for measurement of thermal conductivity of composite panel specimen.

度として、この銅板に埋め込んだ3本の熱電対 (Fig. 1 下の) 平均温度で代用した。この3本の熱電対は、平面的な温度むらをチェックする意味のものであるが、実際に測定した結果では、無視できる程度の温度むらしか存在しなかつた。

冷却板⑩は中空の鋼板で、つねに一定量の水道水を流し、温度を低く、一定に保つた。また、標準板⑧は、厚さ1および2cmのベークライト板で、その熱伝導率は、あらかじめ、絶対法によつて、測定した結果、0.275 (kcal/mh°C) であつた。

これらの装置から、大気中に熱が放散しないように、厚さ4~5cmのグラスウールの保温カバーによつて、装置を覆つた。

試験板⑥は、すでに述べたように、直径20cmの円板で、Table 1の素材料、およびTable 2の複合パネルのそれぞれについて、3枚用意された。熱伝導率の測定手順は次の通りである。すなわち、冷却水の流量と熱板の電圧を一定に保つておくと、数時間で試験板と標準板の温度傾斜が定常状態となる。このときの銅板⑤の温度 $\theta_1$ 、銅板⑦の温度 $\theta_2$ 、および銅板⑨の温度 $\theta_3$ を測定し、次式により試験板の熱伝導率を算出する：

$$\lambda_1 = \lambda_2 \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2} \dots\dots\dots(1)$$

$\lambda_1$  : Heat conductivity of specimen.

$\lambda_2$  : Heat conductivity of control (known) specimen.

$S_1$  : Thickness of specimen.

$S_2$  : Thickness of control specimen.

$\theta_1$  : Temperature of copper plate ⑤ in Fig. 1.

$\theta_2$  : Temperature of copper plate ⑦ in Fig. 1.

$\theta_3$  : Temperature of copper plate ⑨ in Fig. 1.

実験に際し、試験片の表面を平滑に研磨し、銅板との密着をよくした。また、熱板の温度は、予備実験において、温度の安定性、測定誤差、ポリスチレンの融点などを検討して、70~80°Cが適当であることがわかつた。

## 2・2 実験結果および考察

Table 4は、用いた素材料の熱伝導率の測定結果である。同表に、測定前の試験片の厚さ、比重、含水率および測定温度を併記した。また、これらの材料のうち、すでに熱伝導率の値が報告されているものがかなりある。比重その他の測定条件が必ずしも同じではないから、直接比較することは妥当ではないが、参考までに備考欄にその値と文献 No. を記した。

同表の結果は、予期される通りで、発泡ポリスチレンの熱伝導率0.047kcal/mh°Cが最も小さく、優れた断熱性をもっていることがわかる。ハネカムおよびインシュレーション・ボード、バガスボード、木毛セメント板、パーティクル・ボード、合板、ハードボードなど、木質材料がこれに次ぎ、0.05~0.16 kcal/mh°Cの値を示している。アスベスト・シートの0.14 kcal/mh°Cを除けば、無機質の石膏ボード、パーライトボード、石綿セメント板などは、はるかに大きな熱伝導率をもっており、断熱効果は期待できない。

一般に、材料の熱伝導率は比重と関係が深い。上の結果を比重との関係で示すと Fig. 2 の

Table 4. Thermal conductivity of materials used in the experiment.

Material*1	Thickness (mm)	Spec. grav., oven-dried.	Moist. cont. (%)	Temperature (°C)			Thermal conductivity (Kcal/mh°C)	Data from bibliography
				$\theta_1$ *2	$\theta_2$ *3	$\theta_1 + \theta_2 / 2$ *4		
V(D)	(13ply) 0.3	0.53	13.0	74.0	42.5	58.3	0.12	0.13 <sup>3)</sup>
Pl	5.6	0.63	12.4	73.8	53.2	63.2	0.13	0.13 <sup>3)</sup>
PB	22.9	0.64	11.2	73.3	31.5	52.4	0.12	0.12 <sup>4)</sup>
IB	11.9	0.26	11.5	72.5	28.2	52.0	0.052	0.035~0.056 <sup>5)</sup>
HB*5	3.9	0.90	8.4	73.3	53.3	63.3	0.16	0.15 <sup>5)</sup>
BaB	25.0	0.36	12.1	74.3	25.5	47.3	0.081	—
St	9.0	0.014	2.6	75.5	29.0	27.3	0.047	0.035~0.045 <sup>6)</sup>
St	15.0	0.012	4.5	77.3	23.7	50.5	0.047	0.035~0.045 <sup>6)</sup>
Hc	12.0	0.026	7.5	75.8	28.3	52.0	0.066	0.065 <sup>3)</sup>
As*6	2.9	0.90	1.4	71.5	51.0	61.2	0.14	0.13 <sup>3)</sup>
AsC	4.0	1.78	7.9	71.8	60.0	65.9	0.43	—
ExB	13.3	0.67	9.2	76.3	30.3	48.6	0.11	0.14 <sup>7)</sup>
GyB	9.0	0.90	16.9	76.5	46.0	61.3	0.23	0.10~0.15 <sup>8)</sup>
PerB	8.7	0.97	5.2	74.5	45.5	60.0	0.26	0.10 <sup>9)</sup>
Al	1.0	2.56	—	—	—	—	—	180 <sup>3)</sup>

\*1: Meaning of symbols is given in Table 1.

\*2: Temperature of copper plate ⑤ in Fig. 1.

\*3: Temperature of copper plate ⑦ in Fig. 1.

\*4: Average temperature of test specimen.

\*5: Hard board.

\*6: Asbestos.

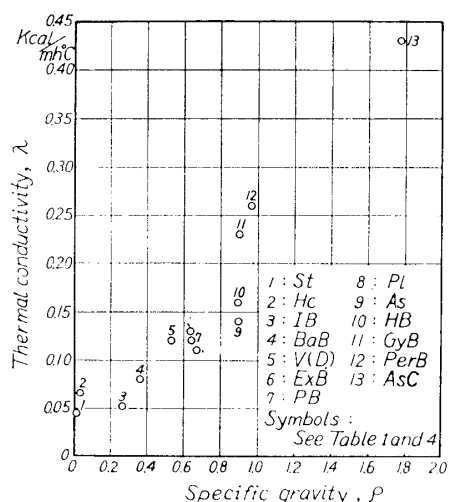


Fig. 2. Thermal conductivity of materials used as lamina of composite panel as functions of specific gravity.

通りである。この図からも、やはり材料の熱伝導率が、その組成よりも、主として、比重に大きく支配されることがわかる。すなわち、比重の大きい材料は熱伝導率が高いと考えてよい。しかしこの曲線が1本の直線で表わせず、ある程度幅をもつた、上に凹な曲線帯に入ることは、複合によつて、比重と熱伝導率の関係を、より広い幅のものとする可能性を含んでいる。

Table 5 は、Table 2 に示される構成の複合パネルの熱伝導率の測定結果で、前表と同様、試験片の厚さ、比重、含水率、および、測定温度が併記されている。さらに、用いたラミナの熱伝導率から、次式によつて計算された平均熱伝導率  $\lambda_m$  と測定値に対する比率  $\lambda_m/\lambda$  も併記されている。

$$\lambda_m = \sum d_i / \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \dots\dots\dots (2)$$

$\lambda_m$ : Average heat conductivity of composite panel.

Table 5. Thermal conductivity of composite panel.

Panel No.	Material and thickness		Spec. grav., oven-dried	Moist. cont. before testing (%)	Temperature (°C)		Thermal conductivity (Kcal/mh°C)		$\lambda_m/\lambda$
	Construction*1	Total thickness (mm)			$\theta_1$ *2	$\theta_2$ *3	$\frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2}$ *4	Observed $\lambda$	Calculated*5 $\lambda_m$
1	V(D), 0.3/PI, 21.0	21.3	0.63	—	—	—	—	—	—
2	V(D), 0.3/PB, 22.0	22.3	0.64	—	—	—	—	—	—
3	V(D), 0.3/AsC, 4.0/IB, 7.4/AsC, 4.0	15.7	1.05	5.6	72.5	35.8	54.2	0.13	0.097(0.15)*6
4	V(D), 0.3/Al, 1.0/IB, 10.5/Al, 1.0	12.8	0.74	3.8	72.5	34.0	52.5	0.084	0.063(0.09)
5	V(D), 0.3/PI(FR), 4.0/Hc, 9.4/PI(FR), 4.0	17.7	0.36	10.5	74.5	32.0	53.3	0.11	0.082
6	V(D), 0.3/Al, 1.0/Hc, 14.4/Al, 1.0	16.7	0.39	1.0	72.3	35.8	51.5	0.14	0.074
7	V(D), 0.3/PI(FR), 4.0/St, 9.3/PI(FR), 4.0	17.6	0.35	12.4	80.5	29.8	55.1	0.075	0.067
8	V(D), 0.3/Al, 1.0/St, 15.2/Al, 1.0	17.5	0.35	1.1	78.5	31.0	54.8	0.055	0.054
9	V(D), 0.3/PI(FR), 22.0	22.3	0.63	—	—	—	—	—	—
10	V(D), 0.3/PB(FR), 22.0	22.3	0.64	—	—	—	—	—	—
11	V(D), 0.3/PI(FR), 4.0/ExB, 9.6/PI(FR), 4.0	17.9	0.66	11.3	79.3	34.0	56.7	0.14	0.12
12	V(D), 0.3/AsC, 4.0/ExB, 11.7/AsC, 4.0	20.0	1.15	8.1	71.8	34.3	52.9	0.19	0.16
13	V(D), 0.3/GyB, 9.1	9.4	0.87	12.5	78.0	56.0	67.0	0.19	0.23
14	V(D), 0.3/PerB, 8.9	9.2	0.97	12.1	75.0	56.0	65.5	0.21	0.24
15	V(D), 0.3/BaB, 25.4	25.7	0.35	12.0	73.5	29.5	51.5	0.079	0.081

\*1: Meaning of symbols is given in Table 1 and number indicates thickness of the lamina.

\*2: Temperature of the copper plate ⑤ in Fig. 1.

\*3: Temperature of the copper plate ⑦ in Fig. 1.

\*4: Average temperature of the test panel.

\*5: Calculated with eq. (2) and data show in Table 5.

\*6: Value calculated under consideration of increment of specific gravity of core material with pressing.



$\lambda_i$  : Heat conductivity of  $i$ -th lamina.

$d_i$  : Thickness of  $i$ -th lamina.

表から明らかなように、パネル No. 7, 8, 15 の複合パネルでは、(2) 式の適用性はきわめて良好で、その誤差は10%以内である。また、パネル No. 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14 においても、誤差は25%以内で、実用上、壁面の設計などの目安をたてる上に役立てることができよう。

しかしながら、パネル No. 6 すなわち、アルミ板でハネカムをサンドイッチしたパネルでは、理論の適用性は50%程度となつている。

パネル No. 3 と 4 の厚さの構成をみると、単板の場合に比べて、インシュレーションボードの層の厚さが著しく小さくなつてゐる。これは熱圧によつて、生じたもので、したがつて、その比重が高くなつてゐる。Fig. 2 から比重の増加による熱伝導率の増加を略算し、(2) 式を計算しなおすと ( ) 内の値となつて、(2) 式の適用性のよいことがわかる。また、No. 13 の場合は、石膏ボード単体の熱伝導率を測定した場合、含水率が、非常に高かつたために、単体の熱伝導率が非常に高くなつてゐるから、(2) 式の適用性が悪かつたものと思われる。しかし、No. 5, 6 の場合は、これに類する原因は認められない。ただ、ハネカム単体の測定に際して、ハネカム表面と銅板の接触の問題あるいは、接着剤の効果、セル中の空気の対流の問題などが関係しているものと思われる。

Fig. 3 は、これら複合板の熱伝導率と、みかけの比重の関係を示すもので、図中の矢印は、先端が計算値を示すように描かれている。ここでも、Fig. 2 におけるように、比重の増加に伴つて熱伝導率が増加するという一般的な傾向を示すが、素材料の場合に比して、その傾向が広い幅をもつことが特徴で、このことは、板の構成によつて、ある程度任意の熱伝導率/比重の関係をもつた材料を作ることの可能性を示すものである。

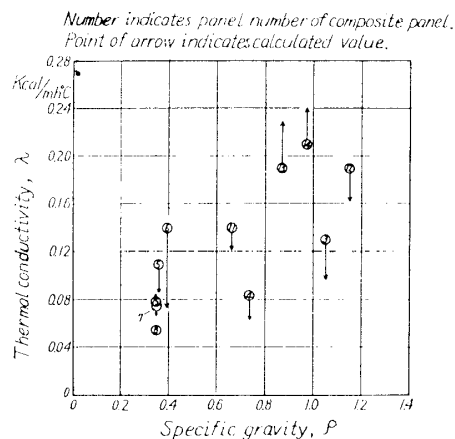


Fig. 3. Thermal conductivity of composite panel as functions of specific gravity.

### 3. 狂 い

複合パネルの表面と裏面が異なる温湿度条件にさらされると、水分傾斜、温度傾斜などによつて、狂いが生ずる。KÜBLER ほか<sup>11)</sup>は、合板—ロックウール—合板の構成のドアパネルについて、水分々布から反りを算出する試みを行なつてゐる。この場合、熱膨張の差による反りは無視できるようである。ここでは一定温度の下で、板の両面を異なる関係湿度にさらすことによつて、生ずる狂いを測定し、続いて、等しい温湿度下で、回復させる過程の狂いの変化を測定し、複合構成の相違による板のスタビリティーの相違を検討した。

#### 3・1 実験方法

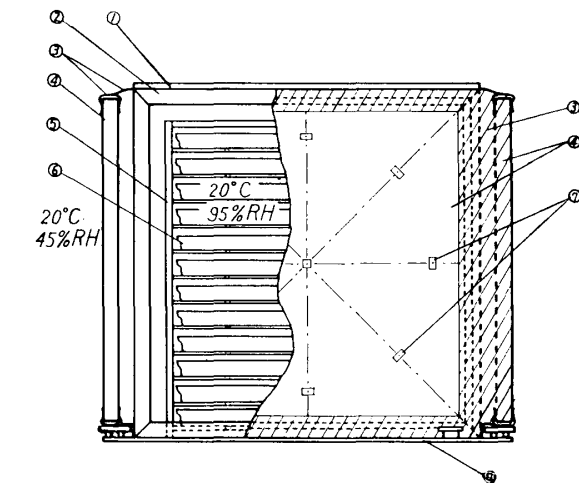
試験片は Table 3 に示すように、No. 4, 6, 8 のアルミ板を用いたものを除いた12種類のパネルから、それぞれ3枚採取した 50×50 cm の寸法のもので、その側面からの吸湿をさける

ために、幅4cmの粘着性ゴムテープで、パネルの膨張をさまたげない程度のゆとりをもつて、端面を、完全にシールした。ついで、20°C、45% RHの恒温恒湿室中に静置して、平衡含水率に達した後、試験に供した。

Fig. 4は、狂いに関する実験に用いた片面吸湿実験装置の模式図である。図において、鉄製枠②の4側面に、試験片④を、突板の面（パネルの表）を外にして、たてかけ、幅10cmの塩ビ・フィルムを介し、ビニールテープを用いて、試験片の端部と鉄枠の間を、気密に、かつ、パネルが自由に變形できるだけのゆとりをもつて、シールした。

このようにしてできた箱形のものを、20°C 45% RHの恒温恒湿室に入れ、底を塩ビ板で閉塞し、その中に、30×30×2（深さ）cmの、ほうろく引のバット⑥12枚に、20°Cの蒸留水をはつて、鉄製の棚⑤に入れたものを、上からはめ込み、すばやく、ガラスの天板①で箱を密閉し、吸湿を開始した。

この蒸留水の表面積は、合計 10,800 cm<sup>2</sup> で、試験片の吸着面積と大体同じ広さである。こ



- ① Glass plate
- ② Steel frame
- ③ PVAc-film bridging specimen and steel frame
- ④ Specimen
- ⑤ Steel rod shelf
- ⑥ Enameled water dish
- ⑦ Glass piece
- ⑧ PVAc-plate

Fig. 4. Apparatus for testing warp of composite panels.

の程度の蒸発表面積があれば、試験片の吸湿による蒸気圧降下はわずかで、しかも装置内は、実験中常に安定した状態にある。このことは、箱の中にとりつけた熱電乾湿度計が、ほとんど変りなく、20°C 95% RHを示しつづけたことから明らかである。このようにして各パネルは、表面（突板を貼った面）を 20°C、45% RHの環境に、裏

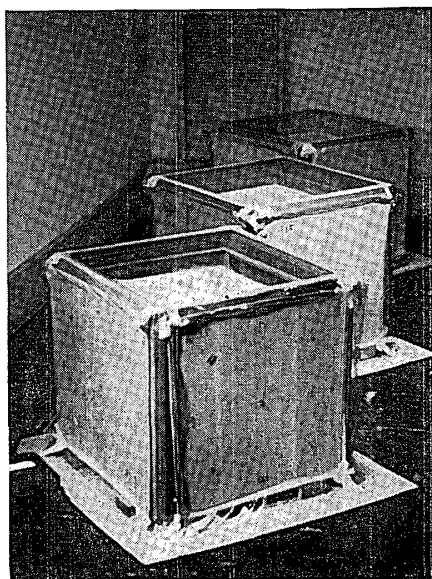


Photo. 1. Warp test of composite panels.

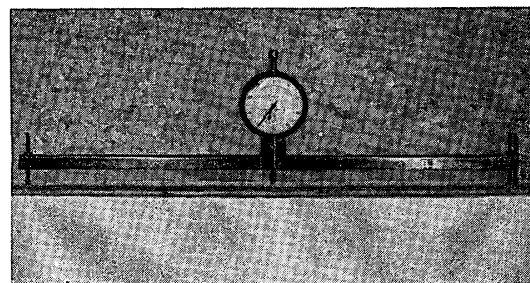


Photo. 2. Curvature-meter used in the test.

面を 20°C, 95% RH の環境に同時に暴露される。(このときの環境条件を, 20°C, 45/95% RH と略記する。設置状況は Photo 1 に示す)。

この条件で500時間吸湿させた後, 直ちに, 試験片を鉄枠からはずし, 20°C, 45% RH の恒温室内に, 垂直に静置して, 500 時間放湿を行ない, これらの吸放湿過程における各パネルの狂い量の変化を測定した。

狂いの測定および評価方法は次の通りである。すなわち, 試験片の表面に, 4 本の対称軸を描き, これと, 中心に描いた半径 20cm の円との交点に, 20×10×1 (厚さ) mm のガラス片をはりつけ (Fig. 4 参照), Photo 2 に示す曲率計を, グラス片上にあて, 4 対称軸上の,

Table 6. Expression of warp.

Kind of warp	Expression
Bow //	$\frac{\text{Bow height in } \overline{AA'}^*}{l} \times 100(\%)$
Bow ⊥	$\frac{\text{Bow height in } \overline{BB'}}{l} \times 100(\%)$
Twist	$\frac{(\text{Bow height in } \overline{CC'}) - (\text{Bow height in } \overline{DD'})}{l} \times 100(\%)$ or $\frac{(\text{Bow height in } \overline{DD'}) - (\text{Bow height in } \overline{CC'})}{l} \times 100(\%)$

\*: Meaning of  $\overline{AA'}$ ,  $\overline{BB'}$ ,  $\overline{CC'}$ ,  $\overline{DD'}$  and  $l$  are shown in Fig. 5.

スパン 400mm に対する中央矢高を測定した。Table 6 は, 反りおよび, ねじれの評価のための諸式を示す。

これらの式の欠点は, 同じ曲率に対して, 測定スパン  $l$  を変えると, 値が変わることである。しかし, 一般に, この方法が用いられており<sup>12)</sup>, また, この場合のように, スパン一定 (400 mm) であれば, 曲率はこの式による結果を  $50l$  ( $=2000\text{mm}$ ) で除した値となり, 比較する上では差支えないから, ここでは, Table 6 の諸式を用いた。

ねじれの計算には 2 つの式があり, 両者は絶対値が等しく, 符号が反対である。ここでは, 表現の便利さを考慮して, それぞれの試験片について支配的なねじれが (+) に計算できる方の式を用いた。

ガラス片を標点に貼ると, 測定値の再現性が極めて良好となる。これによつて, 矢高の測定誤差は  $\pm 1/100\text{mm}$  以内におさえられ, したがつて, 反りおよびねじれの値で表せば  $\pm 0.0025\%$  以内である。

以上の測定方法によつて, No. 4, 6, 8 を除く 12 種類のパネルについて, 各 3 枚, 計 36 枚の試験を行なつた。この場合, Photo. 1 に示すように, 装置を 3 台用意し, その側面, 各 4 面, 計 12 面に, 各種類のパネルを 1 枚づつ, 計 12 枚を同時に設置して, 試験を行ない, これを 3 度繰返すことによつて, 各パネル間の比較精度を高めた。

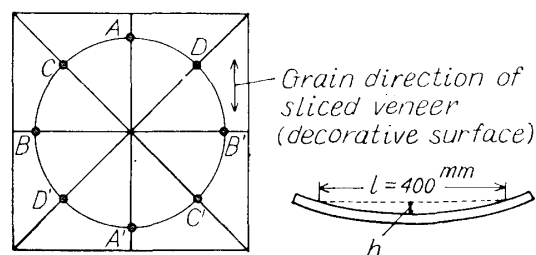


Fig. 5. Expression of warp (ref. Table 6).

Table 7. Average warp and recovery of combination panel.  
(20°C, 45/95%HR, 500 hr and 20°C, 45/45%RH, 500 hr)

Panel No.	Construction*1	Thick-ness of panel (mm)	Kind*2 of warp	T <sub>1</sub> *3 (hr)	h <sub>1</sub> *3 (%)	T <sub>2</sub> *3 (hr)	h <sub>2</sub> *3 (%)	T <sub>0</sub> *3 (hr)	T <sub>3</sub> *3 (hr)	h <sub>3</sub> *3 (%)	Stability	*4 h <sub>1</sub> in bow // h <sub>1</sub> in bow ⊥
1	{V(D), 0.3 PI, 21.0	21.3	bow //	180	0.21	500<	0.20>	27	50	-0.01	A	1.40
			bow ⊥	60	0.15	350	0.12	20	70	-0.02	A	
			twist	370	0.08	500≤	0.09≤	130	450	-0.04	A	
2	{V(D), 0.3 PB, 22.0	22.3	bow //	500<	0.20>	500<	—	47	400≤	-0.02≥	A	1<
			bow ⊥	500<	0.18>	500<	—	30	100≤	-0.03≥	B	
			twist	3	0.01	100	0	40	3	-0.01	A	
3	{V(D), 0.3 AsC, 4.0 IB, 7.4 AsC, 4.0	15.7	bow //	80	0.21	400≤	0.18≥	31	110	-0.05	B	0.96
			bow ⊥	80	0.22	400≤	0.19≥	42	110	-0.03	A	
			twist	1	0.01	100	0.01	—	—	—	A	
5	{V(D), 0.3 PI(FR), 4.0 Hc, 9.4 PI(FR), 4.0	17.7	bow //	320	0.37	300	0.37	80	200	-0.03	A	1.32
			bow ⊥	100	0.28	400	0.24	110	170	-0.01	A	
			twist	400≤	0.23≤	400≤	0.23≤	150	500<	-0.07>	B	
7	{V(D), 0.3 PI(FR), 0.4 St, 9.3 PI(FR), 0.4	17.6	bow //	100	0.33	500≤	0.31≥	—	—	—	A	1.50
			bow ⊥	60	0.22	400	0.18	—	—	—	A	
			twist	500<	0.18<	500<	0.18<	300	—	—	A	
9	{V(D), 0.3 PI(FR), 22.0	22.3	bow //	450	0.25	500<	0.25>	450	—	—	A	1.78
			bow ⊥	170	0.14	300	0.04	500	—	—	A	
			twist	500≤	0.09≤	500≤	0.09≤	—	—	—	B	
10	{V(D), 0.3 PB(FR), 22.0	22.3	bow //	420≤	0.18≥	500<	0.18>	27	400	0.03	A	1<
			bow ⊥	115	0.16	400≤	0.15≥	14	350	0.04	B	
			twist	3	0.01	160	0	0	3	-0.01	A	
11	{V(D), 0.3 PI(FR), 4.0 ExB, 9.6 PI(FR), 4.0	17.9	bow //	150	0.29	400≤	0.28≥	80	500<	-0.02>	A	1.45
			bow ⊥	100	0.20	500<	0.14>	70	140	-0.01	A	
			twist	300	0.16	400≤	0.02≤	260	500<	-0.04>	B	
12	{V(D), 0.3 AsC, 4.0 ExB, 11.7 AsC, 4.0	20.0	bow //	40	0.14	300≤	0.11≥	24	50	-0.04	B	1.08
			bow ⊥	50	0.13	300	0.08	24	60	-0.03	A	
			twist	20	0.01	200	0.11	110	500<	-0.01	A	
13	{V(D), 0.3 GyB, 9.1	9.4	bow //	200≤	0.17	—	—	—	—	—	D	1<
			bow ⊥	1	0.07	—	—	3	3	-0.05≥	D	
			twist	250	0.02	—	—	—	—	—	A	
14	{V(D), 0.3 PerB, 8.9	9.2	bow //	120≤	0.08≥	—	—	1.5	3	-0.05	A	1<
			bow ⊥	121	0.07≥	—	—	—	3	-0.09	A	
			twist	200	0.07	—	—	—	—	—	B	
15	{V(D), 0.3 BaB, 25.4	25.7	bow //	500≤	0.25≥	500<	0.25>	11	300	-0.07	C	1<
			bow ⊥	20	0.19	80	0.15	4	20	-0.06	A	
			twist	7	0.01	80	0.01	3	11	-0.02	A	

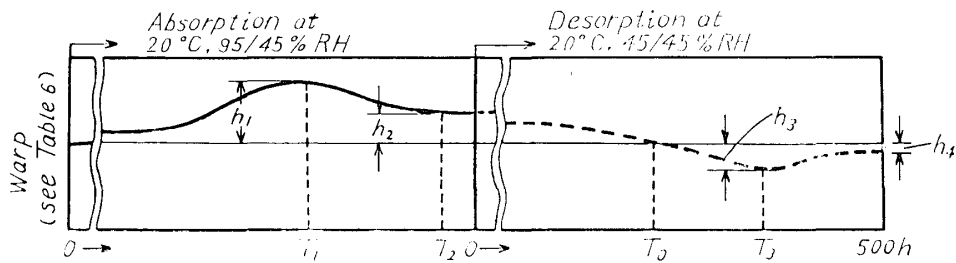
\*1: Meaning of symbols is given in Table 1, and number indicates thickness (mm) of the lamina.

\*2: Refer Table 6.

\*3: The meaning of the symbols is illustrated in the figure at top of the next page.

\*4: Estimation of stability:

Key { A: h<sub>4</sub>=0~0.020%,  
B: h<sub>4</sub>=0.021~0.050%,  
C: h<sub>4</sub>=0.051~0.100%,  
D: h<sub>4</sub>=more than 0.100%.



### 3・2 実験結果と考察

20°C, 45/95% RH の下で 500時間, 20°C, 45/45% RH の下で 500時間の吸放湿サイクル経過中のパネルの反りとねじれの測定結果を整理し, 各パネルの平均的な特徴を, 表にまとめると Table 7 の通りである。

一般に, 反りの経過は, 同表の次頁上端の図のように, 吸湿過程で最大に達した後, 少し減少し, 平衡な値に漸近する。これは, パネル中の水分傾斜の経過に依るものであろう。また, 放湿の場合には, 一度逆反りをおこした後, ある値を残して, 平衡に達する。この残留反りは, 吸湿時の反りが, 一部分セットされたものと考えられる。

ねじれの場合は, 往々にして, 吸湿過程でピークを作らず, ある量に向つて上昇, 漸近する傾向がある。

表に示した  $T_1$ ,  $h_1$ ,  $T_2$ ,  $h_2$ ,  $T_0$ ,  $T_3$ ,  $h_3$  などは, 脚註\*3に示した時刻および狂いの量である。また同表には, 放湿500時間における残留狂い ( $h_4$ ) によつて評価したスタビリティーの程度, および突板の影響が併記されている。

Table 8. Classification of results of warp test.

Group	Panel No. and construction	Feature	Reference
I	No. 1 (V(D), 0.3/Pl, 21.0)	Large bow and twist, bow $\parallel$ = 1.3~1.8 bow $\perp$ , but good recovery.	Fig. 6
	No. 5 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/Hc, 9.4/Pl(FR), 4.0)		
	No. 7 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/St, 9.3/Pl(FR), 4.0)		
	No. 9 (V(D), 0.3/Pl(FR), 22.0)		
	No. 11 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/ExB, 9.6/Pl(FR), 4.0)		
II	No. 2 (V(D), 0.3/PB, 22.0)	Twist is extremely small, bow $\parallel$ is slightly larger than bow $\perp$ , and recovery is good.	Fig. 7
	No. 10 (V(D), 0.3/PB(FR), 22.0)		
	No. 15 (V(D), 0.3/BaB, 25.4)		
III	No. 3 (V(D), 0.3/AsC, 4.0/IB, 9.3/AsC, 4.0)	Twist is extremely small, bow $\parallel$ $\div$ bow $\perp$ , early equilibrium bow, and good recovery.	Fig. 8
	No. 12 (V(D), 0.3/AsC, 4.0/ExB, 11.7/AsC, 4.0)		
IV	No. 13 (V(D), 0.3/GyB, 9.1)	Noticeable thermal warp, unstable behavior.	Fig. 9
	No. 14 (V(D), 0.3/PerB, 8.9)		

まず、全般的な傾向を調べると、No. 13 の石膏ボードを基材とする複合パネルを除けば、これらのパネルは、すべて、かなり良いスタビリティーをもっているといえる。また、表の最後のコラムから、突板をはるることによつて、突板の繊維方向の反りが直角方向の反りに比べて、多少大きく現れることがわかる。これは、突板の繊維方向におけるパネルの伸びが、多少突板によつて抑制されることに原因されるものと考えられる。したがつて、逆に、表面から吸湿させる場合には、繊維方向の反りの方が、直角方向の反りよりも少くなるであろう。

この現象は、突板繊維による変形拘束であるから、基材に比重の高いアスベスト・セメントなどのように、弾性係数の高い材料を使用するときは、当然のことながら、突板の影響は、あまり現れない。

さて、個々の傾向を調べると、その中に、幾つかの傾向の等しいグループがみつかる。Table 8 はそのグループと特徴をまとめたものである。

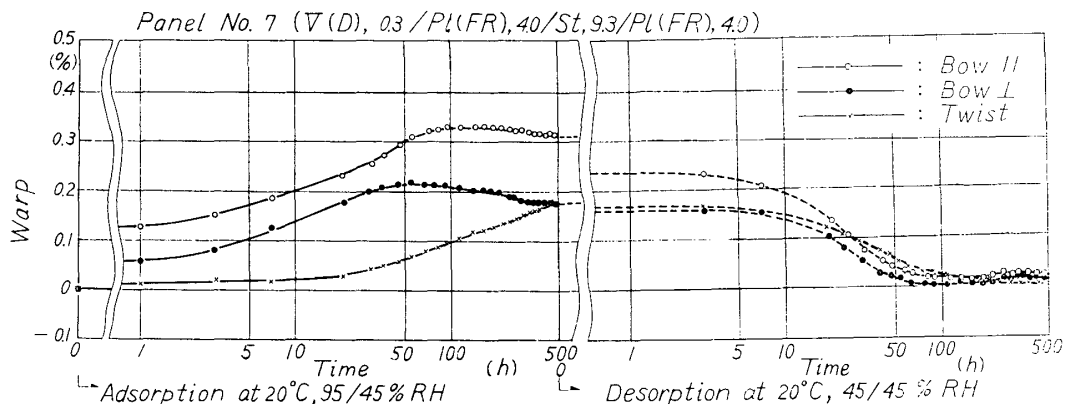


Fig. 6. Average change of warp of panel No. 7 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/St, 9.3/Pl(FR), 4.0).

The same behavior was observed on:

- Panel No. 5 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/Hc, 9.4/Pl(FR), 4.0),
- Panel No. 11 (V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/ExB, 9.6/Pl(FR), 4.0),
- Panel No. 1 (V(D), 0.3/Pl, 21.0),
- Panel No. 9 ((V(D), 0.3/Pl(FR), 22.0).

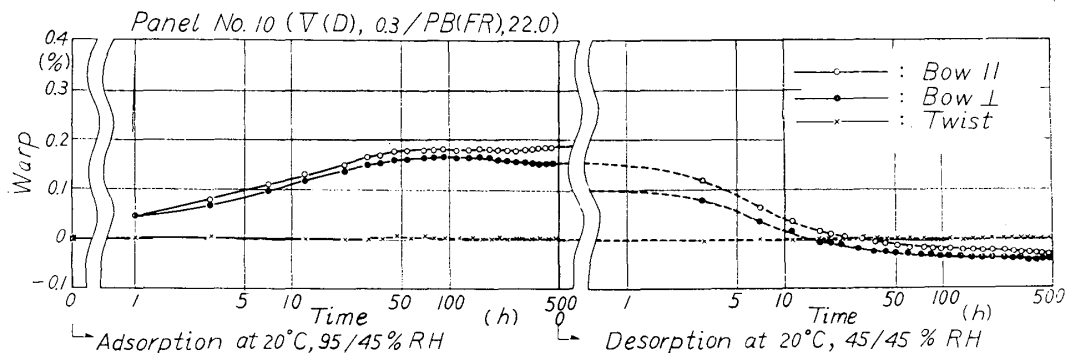


Fig. 7. Average change of warp of panel No. 10 (V(D), 0.3/PB(FR), 22.0).

The same behavior was observed on:

- Panel No. 2 (V(D), 0.3/PB, 22.0)
- Panel No. 15 (V(D), 0.3/BaB, 25.4)

1) グループ I は合板を基材, または合板によるサンドイッチ板を基材とするパネルで, 代表的な経過として, No. 7 のパネルの場合を, Fig. 6 に示す。図から明らかなように, 反りやねじれの値が非常に大きく, しかも, 突板の繊維方向と直角方向の反りの値が著しく異なる。これは, 概算<sup>11)</sup>される突板の効果より, 著しく大きいもので, その原因は, 基材に用いられている合板の膨張率と曲げ剛性の異方性に求められよう。

吸湿の過程で, このように大きな狂いが生ずる反面, 放湿の過程では, 非常によい狂いの回復性を示し, この点からみると, スタビリティーは高いといえる。

2) グループ II はパーティクル・ボードを基材とするパネルで, その代表的な経過として, No. 10 のパネルの場合を, Fig. 7 に示す。図から明らかなように, これらのパネルは, ほとんどねじれを生じない。また, 反りは, 最大値に達するのがおそいか, または, 明確な最大値を示さない。このことは, 透湿速度の小さいことと, パーティクルボード内の内部応力の解放がおこることに関係があると思われる。また, 突板の繊維方向と繊維に直角方向の反りは, あまり差がなく, わずかに前者が大きい程度である。さらに, 放湿の過程をみると, 逆反りの経過は非常に緩慢で, 500時間以内では, 逆反りの絶対値は最大 ( $h_0$ ) に達しない。したがって, 500時間における回復性は必ずしも優秀とはいえないが, 長時間後させれば, よりよい状態に復するであろう。

3) グループ III は, アスベスト・セメント板によるサンドイッチ板を基材とするパネルのグ

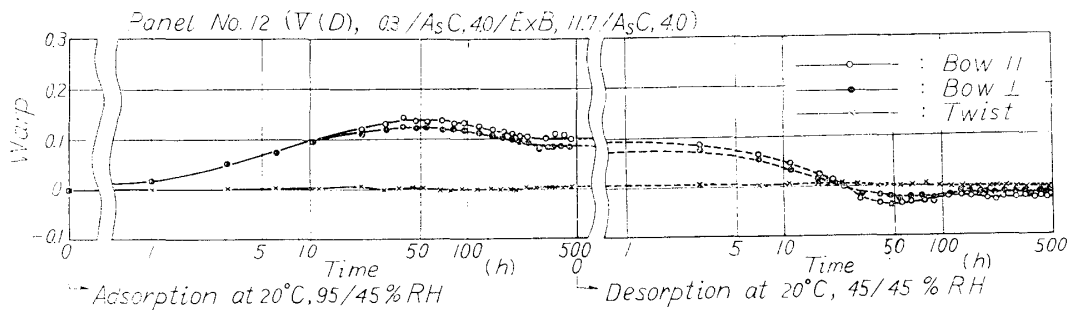


Fig. 8. Average change of warp of panel No. 12 (V(D), 0.3/AsC, 4.0/ExB, 11.7/AsC, 4.0).

The same behavior was observed on:

Panel No. 3 (V(D), 0.3/AsC, 4.0/IB, 9.3/AsC, 4.0).

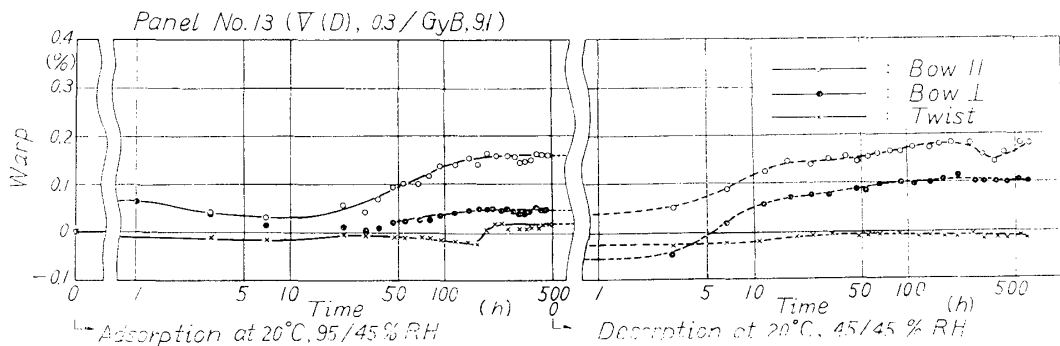


Fig. 9. Average change of warp of panel No. 13 (V(D), 0.3/GyB, 9.1).

The same behavior was observed on:

Panel No. 14 (V(D), 0.3/PerB, 8.9).

ループで、その代表的な経過として、No. 12 のパネルの場合を、Fig. 8 に示す。図から明らかなように、これらのパネルは、グループⅡと同様に、ほとんどねじれを生じない。また前述のように、基材の曲げ剛性が高いから、突板の効果はほとんど現れず、中には Bow  $\nearrow$  < Bow  $\perp$  の場合もみられた。グループⅡに比べて、大きな特徴は、反りの最大値 ( $h_1$ ) が、比較的早い時点で現れることで、これは、アスベスト・セメント板の吸湿速度に関係するものと思われる。したがって、放湿時における逆反りの経過も早く、優れた回復性を示している。

4) グループⅣは、石膏ボードおよびパーライトボードを基材とするもので、この2つは、前者の回復性が著しく悪いのに比して、後者のそれが良い点、非常に異なっているが、吸湿開始直後における異常に大きな反りと、放湿開始直後における異常に大きな逆反りが、共に特徴的である。石膏ボードを基材とするパネルの場合の経過を、例として、Fig. 9 に示す。これら異常な狂い経過は、水分による直接的な膨張によるものではなくて、水分の吸着・脱着の過程におこる板表面の熱変化が原因ではないかと考えられる。石膏ボード基材のパネルが、非常に不安定な変形をなし、回復性の著しく悪いのに比べて、パーライト・ボードを基材とするものは、前述の一時的な異常さを除けば、比較的安定した挙動を示し、とくに、ねじれが少なく、また、回復性も良好である。

#### 4. 曲げ強度および弾性係数

複合板の力学的な性質のうち、壁面や床面に用いられる場合に最も重要なものは、曲げ強度と弾性係数である。内層に比重の小さい材料を用いた複合板では、内層の水平せん断強度が小さく、また水平せん断による変形が大きいため、複合板がせん断を伴う曲げを受ける場合は単純な曲げを受ける場合に比して、著しいたわみを生じ、また、内層の水平せん断によって破壊が生ずるため、小さな荷重にしか耐えないことになる。本実験では Table 2 に示す15種の複合板についてせん断を伴う曲げおよび純粋曲げの2種類の試験を行なつて、上の水平せん断の影響を調べた。

##### 4・1 実験方法

試験片は、Table 4 に示すように、スパンを突板の繊維に平行および直角方向にとつた2種類のものそれぞれについて、長いスパンのものと短いスパンのものを3本ずつ用意し、短いものは、Fig. 10a のように、中央集中荷重で、中央のたわみを求めつつ、曲げ破壊試験を行ない、長いものは、まず、Fig. 10b のように、中央  $L/2$  の部分に、純粋曲げを生ぜしめ、この部分の曲率を測定した後、荷重を除いて、Fig. 10a のようにして、スパン 55cm の中央集中荷重試験を行ない、破壊値を求めた。

##### 4・2 実験結果と考察

Table 9 に曲げ強度  $\sigma$  と弾性係数  $E$  の測定

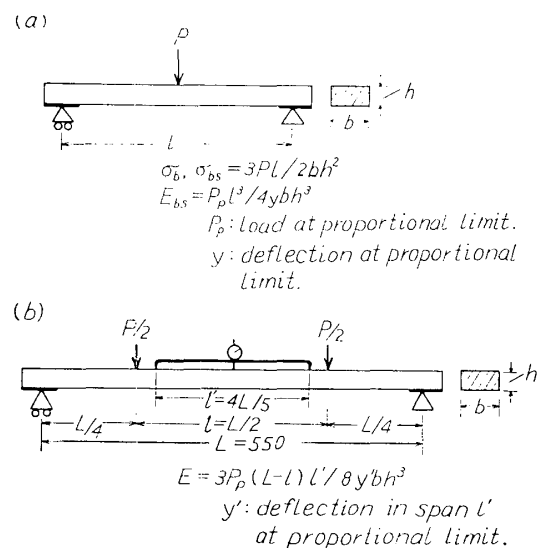


Fig. 10. Loading diagrams and formulas.



Table 9. Average values of modulus of rupture and modulus of elasticity of combination panels.

Panel No.	Material and thickness		Spec. grav.	Moist. cont. oven-dried (%)	Span* <sup>2</sup> direction	Modulus of rupture			Modulus of elasticity				Modulus of rigidity of core material $G_c(\times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$	
	Construction* <sup>1</sup>	Total thickness (mm)				Short* <sup>3</sup> span ( $l=15\text{h}$ ) center load (kg/cm <sup>2</sup> )	Long* <sup>3</sup> span ( $l=550 \text{ mm}$ ) center load (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{bs}/\sigma_b$	$\sigma_b/\rho$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Short span/4 point load ( $l=15\text{h}$ ) center load* <sup>3</sup> ( $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ )	without horizontal shear* <sup>4</sup> $E_b(\times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$	$E_{bs}/E_b$		$E_b/\rho (\times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$
1	V(D), 0.3 PI, 21.0	21.3	0.63	12.0	∥	280 (480)* <sup>5</sup>	280	1.0	440	34	51	0.67	81	1.2
2	V(D), 0.3 PB, 22.0	22.3	0.64	12.6	∥	140	167	0.84	260	22	40	0.55	65	0.46
3	{ V(D), 0.3 AsC, 4.0 IB, 7.4 AsC, 4.0 }	15.7	1.05	5.6	∥	81	87	0.93	83	30	120	0.25	210	0.20
4	{ V(D), 0.3 Al, 10 IB, 10.5 Al, 1.0 }	12.8	0.74	3.8	∥	(95) (93)	(230) (190)	0.41 0.49	(310) (260)	22 19	250 230	0.088 0.083	340 310	0.10
5	{ V(D), 0.3 PI(FR), 4.0 Hc, 9.4 PI(FR), 4.0 }	17.7	0.36	10.5	∥	(57) (52)	(81) (43)	0.70 1.2	(220) (120)	15 13	35 66	0.43 0.20	97 180	0.10
6	{ V(D), 0.3 Al, 1.0 Hc, 14.4 Al, 1.0 }	16.7	0.39	1.0	∥	(49) —	— (24)	— —	— —	16 —	— 83	— —	— —	—
7	{ V(D), 0.3 PI(FR), 4.0 St, 9.3 PI(FR), 4.0 }	17.6	0.35	12.4	∥	((69))* <sup>6</sup> ((64))	(75) (68)	0.92 0.94	(210) (190)	5.0 6.9	20 20	0.25 0.35	57 57	0.06

8	{ V(D), 0.3 Al, 1.0 St, 15.2 Al, 1.0	17.5	0.35	1.1	∥	((39))	(48)	0.81	(140)	4.4	69	0.064	200	0.03
9	{ V(D), 0.3 Pl(FR), 22.0	22.3	0.63	12.3	∥	300	340	0.88	540	34	54	0.63	86	0.90
10	{ V(D), 0.3 PB(FR), 22.0	22.3	0.64	12.3	∥	(530)	(630)	0.84	(1000)	66	96	0.69	150	
11	{ V(D), 0.3 Pl(FR), 4.0 ExB, 9.6 Pl(FR), 4.0	17.9	0.66	11.3	∥	170	150	1.1	230	32	39	0.82	61	0.35
					⊥	160	160	1.0	250	26	38	0.68	59	
					∥	(120)	190	0.63	290	28	38	0.74	57	0.84
					⊥	(170)	(170)	1.0	260	54	83	0.65	130	
12	{ V(D), 0.3 AsC, 4.0 ExB, 9.6 AsC, 4.0	20.0	1.15	8.1	∥	89	120	0.74	100	49	131	0.37	110	0.47
13	{ V(D), 0.3 GyB, 9.1	9.4	0.87	16.5	∥	68	—	—	—	47	—	—	—	—
					⊥	58	—	—	—	39	—	—	—	
14	{ V(D), 0.3 PerB, 8.9	9.2	0.97	12.1	∥	79	73	1.1	75	34	45	0.75	47	2.2
					⊥	79	74	1.1	76	36	39	0.92	40	
15	{ V(D), 0.3 BaB, 25.4	25.7	0.35	12.0	∥	64	64	1.0	180	7.1	8.7	0.82	25	0.09
					⊥	56	47	1.2	130	5.1	6.5	0.78	19	

\*1: Meaning of symbols is given in Table 1 and number indicates thickness (mm) of the lamina.

\*2: ( ) means the direction parallel to grain of the face (sliced) veneer.

( ) means the direction perpendicular to grain of the face (sliced) veneer.

\*3: See Fig. 10(a).

\*4: See Fig. 10(b).

\*5: ( ) shows horizontal shear failure.

\*6: (( )) shows crashing of core at a point of load.

結果の平均値を示す。同表には、長スパン（スパン/梁高比： $l/h=20\sim60$ ）の場合の強度と、短スパン（ $l/h=15$ ）の場合の強度の比、長スパンの場合の強度のパネル比重に対する比、短スパン中央集中荷重の場合の弾性係数と純粋曲げの場合の弾性係数比、および後者の比重に対する比が示されている。また、この結果から算出されたコアのせん断弾性率  $G_c$  の概略値も示されている。表中値のないものは、試験片作製時に接着破壊などを生じて、曲げ試験のできなかったものである。以下その個々について述べる。

#### 4・2・1 曲げ強度

コアのせん断強の低い複合材料では、スパンが短い場合は、当然、コアの水平せん断破壊が先行してしまう。スパンの長いものでも、コアのせん断強度が著しく低い場合は、やはり、この現象が支配的である。このような場合は、破壊時の skin stress で強度を表現するのは適当でないが、ここでは、表中に破壊形を示し、普通の曲げ破壊係数の式で算出した値を比較の意味で示した。スパンのとり方が適当でなかつたため、スパンを伸ばしたことによつて、破壊形がせん断から曲げに変つたものは、No. 1 (⊥) および No. 11 (／) のものだけにとどまつた。また、スパンの短いときは、破壊荷重が大きいため、発泡ポリスチレンをコアとする材料では、荷重点下のコアのつぶれによつて、破壊が決定されるのが特徴的で、発泡スチロールの耐圧強度の弱さが問題となる。強度の大小を通覧すると、まず、合板基材のもの (No. 1, 9) が抜群の強さを示しているほか、アルミニウム板とインシュレーションボードの組合せパネル (No. 4) は、もし、せん断破壊が生じなければ、かなり強い材料であろうと思われる。1, 2 の例外はあるが、短スパンのものと長スパンのものの強度比は、共に曲げ破壊を生じた場合には、当然のことながら、1に近い値を示し、共にせん断の場合には、スパンの長い方が強度が高くである。これも、生ずるせん断応力と曲げ応力の比率から当然のことである。曲げ強度と比重の比（比強度  $\sigma_b/\rho$ ）をみると、合板が基材となつているもの (No. 1, 9) が抜群の値を示している。これに反して、アスベストセメント板を用いたコンストラクション (No. 3, 12) は比重が大となるため、比強度が非常に低い。またパーライトボード基材のものも同じ意味で低い。しかし、アルミ板または合板に軽量コアをサンドイッチしたものは、コアのせん断が生じさえしなければ、優れた比強度をもつものとなるであろう。

#### 4・2・2 曲げ弾性係数

純粋曲げの場合の弾性係数  $E_b$  をみると、アルミ板やアスベストセメント板を表面材とするもの (No. 3, 4, 6, 8, 12) は高い値を示し、とくに、同じ軽量コアのアルミ・サンドイッチでも、コアにインシュレーションをもつものは抜群に高い値である。また、これを比重との比 ( $E_b/\rho$ ) で表わしても、やはり最も高い値となつている。したがつて弾性係数の上からは、この組合せが最も合理的であると結論される。純粋曲げの場合の弾性係数  $E_b$  の値に対する短スパン中央集中荷重の場合の弾性係数  $E_{bs}$  の値の比は、軽量コアの場合は著しく低く、コアのせん断変形が大きく寄与していることがわかる。とくにアルミ板を表面材とするもの (No. 4, 8) は、全体の厚さに対するコアの厚さの比が大きいので、コアのせん断変形が著しくなつている。積層材料の曲げにおける水平せん断変形がたわみにおよぼす影響については、多くの研究がある<sup>13)</sup>。たとえば WANGAARD によれば、サンドイッチ板の中央集中荷重の曲げにおけるた

わみ  $y$  は,

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{Pl^3}{48 \sum E_i I_i} + \frac{Pl}{4N} \\ N &= \frac{(h+h_c)}{2} b \cdot G_c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

で示される<sup>13)</sup>。ここに、 $P$  は荷重、 $l$  はスパン、 $E_i$ 、 $I_i$  は  $i$  層の弾性係数と断面2次モーメント、 $h$  は全体の厚さ、 $h_c$  はコアの厚さ、 $b$  は巾、 $G_c$  はコアの剛性率である。この第1項は、曲げモーメントによるたわみを表わし、第2項は、せん断応力によるたわみの附加を示している。この式をたわみと弾性係数の関係に代入し、変形することによつて、次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} G_c &= \frac{\alpha}{\frac{1}{E_{bs}} - \frac{1}{E_b}} \\ \alpha &= 2h^3/l^2(h+h_c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $E_{bs}$ 、 $E_b$  は、せん断を伴う場合のみかけの弾性係数と純粋な弾性係数である。本実験では、突板の繊維に直角方向の曲げの場合、突板の弾性係数の影響は無視できるから、この方向に4式を適用して、 $G_c$  を求めると、Table 9 の最後の欄に示すような値となる。合板における水平せん断弾性係数については、単板を平行にはり合せたものについての上田の測定値<sup>14)</sup>が参考になる。それによれば、この場合、 $G_{RT}=1.7 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  と  $G_{LR}=8.3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  の平均的な値が期待されるが、Table 9 の値はこれより小さく、 $0.9 \sim 1.2 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  となっている。この原因はよくわからないが、4式の近似性の不十分さと合板固有の欠点などが問題で、今後の検討を必要とする。他の材料の  $G$  については、比重との関係が明確でなく、適当な比較データがないが、これらの値相互の関係は、一応妥当な傾向にあるように思える。この結果によれば、水平せん断における  $G_c$  の値は、

$$P_e B > Pl > E \times B > PB > IB > H_c > B_a B > St \dots\dots\dots (5)$$

の順で、せん断変形によつて増加するたわみの量はこの逆の順に大きいと考えられる。

## 5. 複合板の防火性能

居住工学的立場からは複合板の基材や表面材を有機材料とすることが望ましいが、反面これは防火上の弱点を招いている。しかしながら、これらの複合板はその材料や構成を変えることによつて防火性能をかなり改良することができると考えられる。ここでは Table 4 に示す15種の複合板について防火試験を行ない、その構成材料と組合せが、どのような防火性能をもたらすかについて、若干の検討を行なった。

### 5・1 防火性能試験

防火試験は JIS A1321「建築物の内装材料および工法の難燃性試験方法」によつた。

試験用加熱炉は JIS A1305「鉛直式小型加熱炉および調整法」に規定されている2種類の加熱炉のうちプロパンガス炉を用い、その調整、加熱および測温方法は同規格およびその解説<sup>15)</sup>を参考にしたが試験体が  $30 \times 30 \text{ cm}$  であるため測温箇所は表面、裏面ともにその中心1箇所とした。裏面温度の測定には JIS A1321 の5・2により  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 1 \text{ m}$  の杉桎目板を用い

Table 10. Test results of fire protectivity\*1.

Panel No.	Construction*2	Thick-ness*3 of panel	Spec. grav.	Begin-ning of Color-ing	Begin-ning of Car-boni-zation	Fla-shy flame	Flam-ing time (sec)	After flame (sec)	After glow (sec)	Max. temp. of heating face (°C)	Temperature of rear face (°C)			Weight loss (%)	Judgement
											7 min.	10 min.	15 min.		
1	V(D), 0.3/Pl, 21.0	22.4	0.63	3'30"	6'15"	6'47"	72'4"	35	0	853	10	20	38	15	2
2	V(D), 0.3/PB, 22.0	22.5	0.64	5'39	7'27	8'15	8'30	60	0	787	10	40	60	16	2
3	V(D), 0.3/AsC, 4.0/IB, 7.4/AsC, 4.0	16.0	1.05	6'35	8'35	9'38	—	0	0	743	27	57	70	5	1
4	V(D), 0.3/Al, 1.0/IB, 9.0/Al, 1.0	12.8	0.74	5'49	7'00	7'59	—	0	0	693	48	63	—	5	2
5	V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/Hc, 9.4/Pl (FR), 4.0	17.5	0.36	5'10	6'21	6'43	7'13	24	0	773	35	50	—	23	2
6	V(D), 0.3/Al, 1.0/Hc, 15.0/Al, 1.0	16.1	0.39	5'35	6'52	—	—	0	0	683	70	153	—	4	2
7	V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/St, 9.3/Pl(FR), 4.0	17.6	0.35	5'20	6'58	7'28	7'32	22	0	810	18	53	—	21	3*5
8	V(D), 0.3/Al, 1.0/St, 15.0/Al, 1.0	18.5	0.35	3'55	—	—	—	0	0	540	70	—	—	—	Fail
9	V(D), 0.3/Pl(FR), 22.0	22.8	0.63	5'57	7'42	8'09	8'42	0	0	737	10	15	32	12	1
10	V(D), 0.3/PB(FR), 22.0	22.0	0.64	5'49	6'39	7'34	8'15	26	0	740	10	37	60	17	1
11	V(D), 0.3/Pl(FR), 4.0/ExB, 9.6/Pl (FR), 4.0	17.9	0.66	5'28	7'25	7'48	8'33	0	0	745	10	30	55	13	1
12	V(D), 0.3/AsC, 4.0/ExB, 11.7/AsC, 4.0	21.3	1.15	6'30	9'25	9'05	8'10	0	0	747	13	33	60	4	1
13	V(D), 0.3/GyB, 9.1	9.5	0.87	5'24	6'37	7'20	7'36	0	41	760	80	90	140	21	1
14	V(D), 0.3/PerB, 8.9	9.0	0.97	6'05	7'35	8'15	8'13	0	2	740	80	93	143	10	1
15	V(D), 0.3/BaB, 25.4	26.0	0.35	4'52	5'47	6'34	7'18	27	0	713	30	75	85	26	1

\*1: Average of three panels.

\*2: Meaning of symbols is given in Table 1 and number indicates thickness (mm) of the lamina.

\*3: Observed value.

\*4: Key to Judgement.

1: 1st Class Incombustible (Endurable 15 minutes heating).

2: 2nd Class Incombustible (Endurable 10 minutes heating).

3: 3rd Class Incombustible (Endurable 7 minutes heating).

\*5: One of three panels failed in the 2nd class incombustible heating.

た。

試験体は移動取付台に取付け、JIS A1321 の5に規定されている加熱曲線に従って移動し、加熱等級は JIS A1321 の4によった。いずれの試験体も難燃1級の15分加熱を行なったがこれに耐え得ないものは、その複合板が防火性能を保持し得た限界の加熱時間で級別した。試験回数は1種類の複合板について3回である。

試験の結果は加熱時間により級別し、JIS A1321 の5・3に定める条件に適合するものを合格とした。すなわち、

1. 試験体はいずれの部分からも防火上有害と認められる延焼性の炎を出さず、加熱終了後30秒以上の残炎がなく、また2分以上の火気が残存しないこと。
2. 局部材を除く下地材料の温度が「可燃材料で 260℃、不燃材料（難燃処理した紙、木材を含む）では制限なし」の範囲をこえないこと。
3. 防火上有害と認められる熔融、変形、破損、脱落、発煙などのないこと。
4. 試験は同一試験体について3回行なうが、各回とも合格すること。

である。なお、試験中、上の条件のほか試験体表面の変色、炭化、走炎、着炎時間を測定するとともに、試験体の変形、破損や重量減少などを観察測定して防火性能判定の資料とした。

## 5・2 結果と考察

防火試験の結果を Table 10 に示す。

基材に無機質材料を用いた場合の例として、panel No. 14 のパーライトを基材とする複合板の加熱試験中における温度変化を Fig. 11 に示す。この複合板は全供試複合板中最も薄いもの（9.3mm）であるが難燃1級に合格する。燃焼試験後の試験体の状態は表面の突板が炭化したのみで、芯材および裏面はほとんどもとの形状を保持し、パーライトの耐熱性がすぐれていることを示している。表面の突板が灰化脱落することなく炭化するにとどまつたのは、とくに調合された含ハロゲン・アミン系防火接着剤による脱水炭化作用<sup>16)</sup>による防火効果が顕著であつたためと考えられ、後述するようにいずれの複合板にもこの効果は認められる。一方、裏面温度は加熱時間7分

で 80℃、10分で 93℃、15分で 143℃ といずれも、15種の複合板中最も高い温度を示すものの一つであるが、これは複合板の厚さが 1cm 以下であることと熱伝導率が 0.26kcal/mh °C とやや高いことが原因している。石膏ボード（panel No. 13）の場合も熱伝導率が高いことと、パネルの厚さが 9.3mm であることから Fig. 11 とほとんど同一の経過をたどり15分加熱で裏面温度は 140℃ に達し、表面中心部に小さな亀裂を生ずる。これはパーライトにはみられない

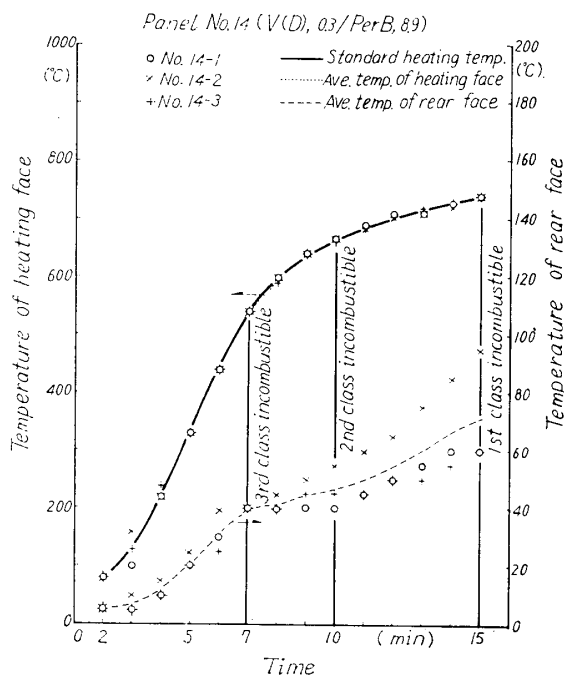


Fig. 11. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.

石膏ボード特有の現象である。

また加熱表面の突板はパーライトの場合と同様炭化しているが、石膏ボードの表面加工紙は部分的に燃焼して剥離、脱落し、これとともに炭化した表面の突板も剥落して石膏がむき出しとなりパーライトを基材としたものと異つた性状を示した。これは石膏ボード表面の加工紙に防火性能が賦与されていないために生じたものと考えられる。なお、パネル自体には、加熱時および加熱後にはつきりした変形が認められなかつた。

本実験では準不燃材の木毛セメント板を芯材とした場合、表（裏）面材を難燃合板またアスベストセメント板とする2種類のパネルを試験に供したが、いずれも難燃1級の性能を示した。Fig. 12 に難燃合板を表（裏）面材としたパネル（panel No. 11）の温度変化を示す。裏面温度は、前述の不燃材の2倍の厚さがあるために、合板の場合15分で55°C、アスベストセメント板で60°Cで、いずれもJIS A1321に規定されている裏面温度よりはるかに低い。試験後の状態は表面材にアスベストセメント板を用いた場合は、亀裂、破損などの変化がなく、重量減少率も4%で、本実験に供した複合板のうち最も低いものの1つとなつているのに対し、難燃合板の場合、加熱表面の燃焼炎は認められないが、炭化、分解により、表面に亀裂を生じ、その重量減少率は13%となる。一方、裏面温度では合板がやや低い。これは合板の熱伝導率が

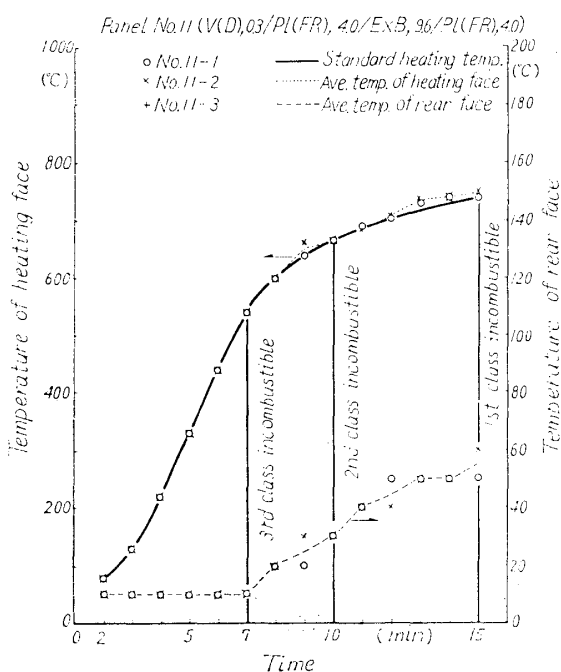


Fig. 12. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.

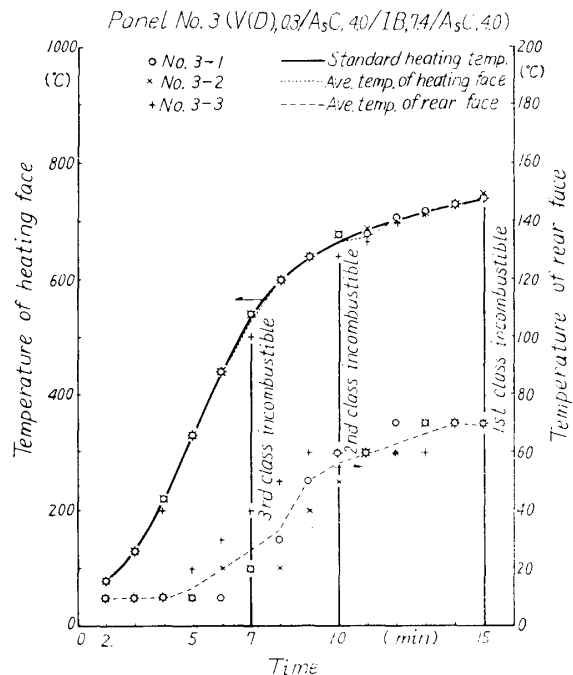


Fig. 13. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.

アスベストセメント板のそれにくらべ低いことと、合板表面にできた炭化層による熱伝導率の低下が原因していると考えられる。

芯材あるいは基材に木質材料を含めた可燃性材料を用いても、その厚さが 15mm 以上あれ

ば、無処理の発泡ポリスチレンと複合した場合を除いて、いずれも難燃3級以上の性能をもち、その優劣は複合構成の種類によつて異なる。すなわち、無処理のインシュレーションボードを芯材とし、その両面にアスベストセメント板を用いた場合 (panel No. 3), その防火性能は難燃1級で、試験時における温度変化は Fig. 13 のようになる。これに対し panel No. 4 の表面材をアルミニウム板としたものは難燃2級にとどまる。裏面温度が前者の場合7分で27°C, 10分で57°C, 15分で70°C であるのに対し、後者は7分で48°C 10分で68°C を示し、中核に熱伝導率の低いインシュレーションボードがあるにもかかわらず、裏面温度におよぼすアルミニウム板の影響が大きく、アルミニウム板とアスベストセメント板の熱伝導の差が明確にあらわれている。さらに易燃性のインシュレーションボードコアに対する断熱性無機質材料の被覆効果も認められる。インシュレーションボードコアにアルミニウム板を複合した場合、加熱時間10~13分で表面材と芯材が最初部分的に、続いて50~60%が剥離をおこして防火上有害な発炎を招くに至る。また加熱面のアルミニウム板が熱によりわん曲し、その表面の突板は炭化して、部分的に剥離する。

複合材料の芯材として高く評価されているハネカムをコアとし、両表面を難燃合板とした複合板 (panel No. 5) では加熱時間が10分を過ぎると厚さ4mmの難燃合板に亀裂を生じ、コアが燃焼して炎が裏面に達し、その防火性能は難燃2級にとどまる。すなわち Fig. 14 の温度曲線からわかるように加熱10分後急激に表面温度が上昇する。ハネカムのごとく空気層で断熱効果を期待し、したがって、加熱により炭化層を形成し得ない材料で、しかも防火加工を施していないコアを用いた場合は、表面が破損すると同時にコアが着炎、燃焼して裏面材料に達

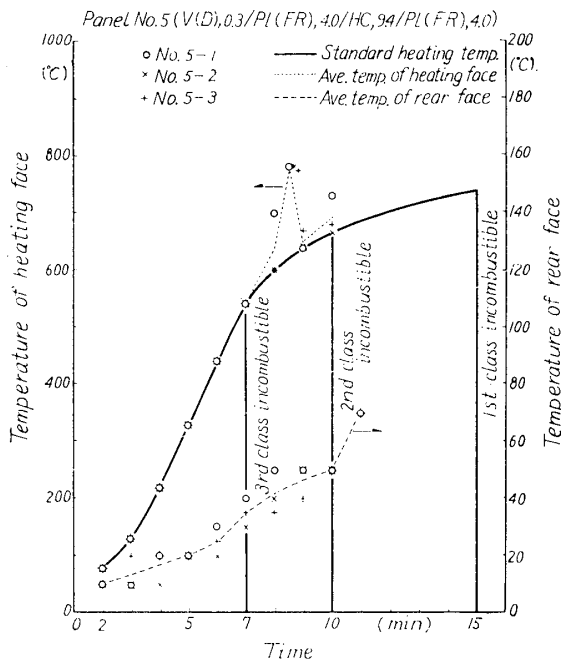


Fig. 14. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.

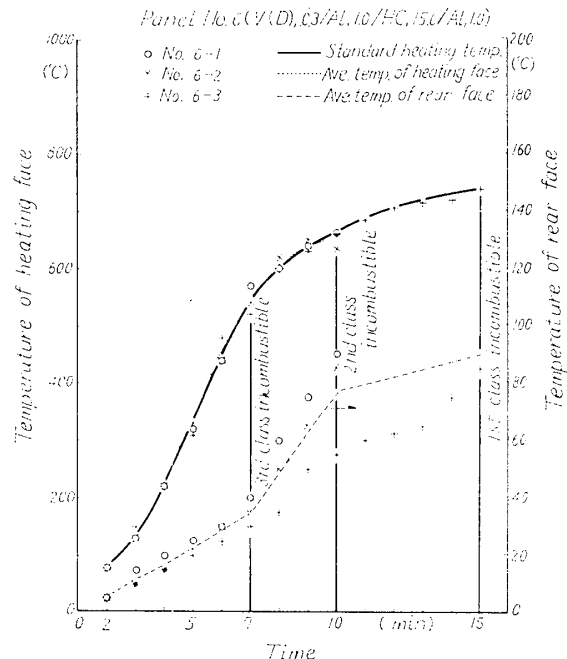


Fig. 15. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.



し、その上、空気の供給を助長するので防火上好ましくない状態となる。これに対し、表面がアルミニウム板の場合 (panel No. 6) と Fig. 15 に示すように表面が損傷しないためハネカムコアの燃焼がなく、表面温度の急上昇は認められないが、芯材が炭化し、パネル全体がわん曲する。難燃合板とアルミニウム板の裏面温度を比較した場合、前者が7分で35°C、後者が70°Cで2倍、10分で前者が50°Cであるのに対し、後者が153°Cと3倍を示す。これは全複合板中、最高の温度で、アルミニウム板の熱伝導率の高さが大きな影響をおよぼすことを示す。

本来、本実験に使用したペーパーハネカムのごとき空気層のみによる断熱効果を期待する材料では、それ自体は500~800°Cの火災温度に耐えることができないが、フェイスに炭化層を形成するような材料を用いた場合、これがかなり有効に作用することもある。

ほぼ同じ厚さの合板 (panel No. 1) およびパーティクルボード (panel No. 2) と、これをそれぞれ難燃化処理したもの (panel No. 9 および10) を比較する。

無処理では、合板、パーティクルボードともに、15分間の1級加熱を行なつても裏面温度が規定よりもはるかに低い、残炎が30秒以上であつて難燃2級の防火性能をもつにとどまる。

合板は、加熱表面の燃焼炎のためパネルの表面温度が加熱8分前後から、標準加熱曲線よりかなり上昇して800~860°Cに達する。この温度変化を Fig. 16 に示す。加熱時における燃焼状況は7~12分で燃焼炎を発生し、続いて炭化層が形成されるが、以後、合板内部の熱分解ガスによるものと考えられる炎が観察され、15分加熱後15~70秒の残炎がある。45秒以上の残炎があつたパネルは加熱中、その表面に深い亀裂を生じてパネル内部に空気を供給し、内部で生ずる熱分解ガスに燃え易い条件を与えているためである。15分加熱で、パネルの厚さの約1/3が炭化層となり、炭化表面には亀裂を生ずるがその断熱効果により裏面温度は38°Cにとどまる。

パーティクルボードは合板とほぼ同様な裏面温度の変化を示すが、15分加熱で60°Cを示し合板よりやや高い。表面温度は合板とやや異なり標準加熱曲線から極端にずれるような急上昇はない。

このように20mm以上の厚さをもつた合板およびパーティクルボードは残炎を阻止できれば難燃1級の合格は容易で、無処理であつても木質材料が一たん炭化層を形成するとすぐれた耐火、耐熱性をあらわすことを示している。なお、2級加熱に合格するのは突板の接着剤が防火性であつて、加熱中、一時的な発炎は認められるが、とくに有害な発炎燃焼はまだ認められず、この時点での残炎は規定の30秒をこえないことによる。これは、防火性接着剤により、突

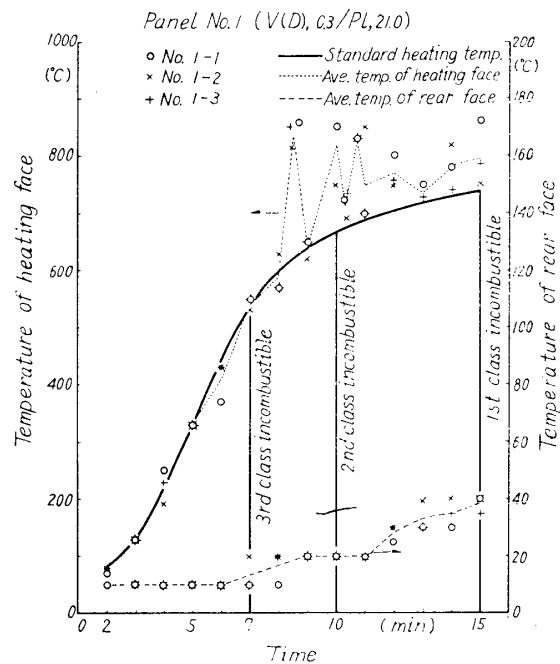


Fig. 16. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A1321.

板および合板またはパーティクルボード表面が脱水炭化して残炎を抑えると同時にパネル内部から生ずる可燃性熱分解生成物が着炎するに至っていないことを示す。なお、試験炉の加熱炎を中断しないかぎり11~20分前後までは表層部および内部の熱分解生成物によるかなり激しい発炎燃焼が認められる。

難燃化処理した場合、合板、パーティクルボードともに難燃1級加熱試験に合格し、加熱表面の温度は標準加熱曲線からほとんどずれず、加熱時における発炎燃焼のないことを示し、(Fig. 17) 残炎も認められない。これは基材および接着剤に対する防火処理の効果によるもので、炭化層も無処理のそれに比較して薄く、裏面温度もやや低い。

処理、無処理にかかわらず合板に対してパーティクルボードが高い裏面温度を示すが、これは後述のバガスボードに見られると同様この種の削片を原料とした材料の特徴のようである。

木質材料を基材としたパネルについて防火試験後の加熱面および側面を観察すると、難燃化処理の有無によつて多少異なるが、炭化層は表面の3~6mmにとどまり、変形、破損はほとんど認められなかつた。このことはすでに文献<sup>17)</sup>にみられるように木質材料に一定の厚さがあれば、加熱中、表層部に炭化層を形成して、試料の熱伝導を低下させ、断熱効果を発揮するとともに空気の供給を阻止する窒息作用を示すものとみてよいであろう。

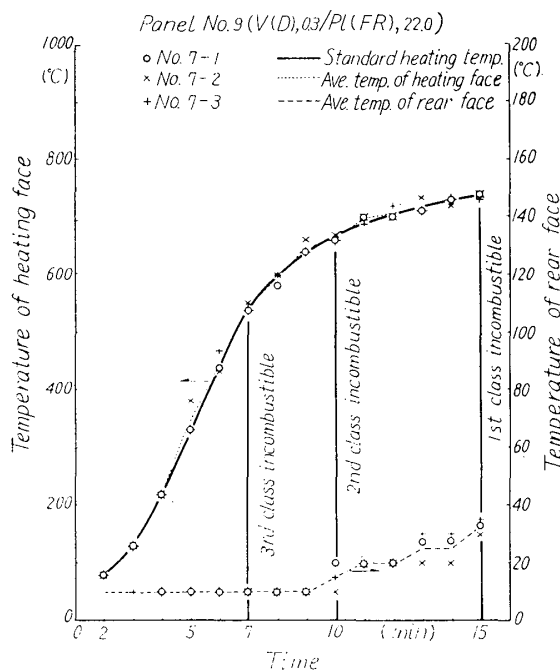


Fig. 17. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire exposure condition of JIS A 1321.

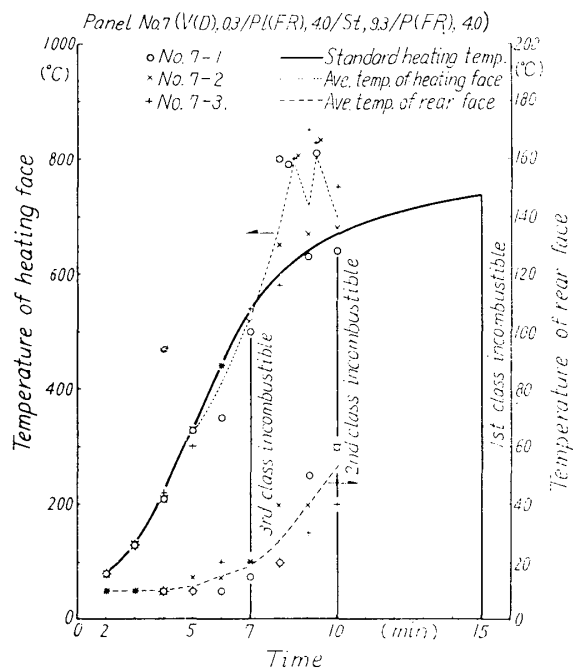


Fig. 18. Temperature variations of heating face and rear face of panel with time under the fire-exposure condition of JIS A 1321.

Fig. 18 に発泡ポリスチレンをコアとし、表面材を市販難燃合板とした複合板 (panel No. 7) の温度変化を示す。これによると加熱8分以後に表面の急な温度上昇があるが難燃2級の加熱には耐える。コアの発泡ポリスチレンは加熱表面側から溶融するが、裏面温度は10分で

53°C にとどまる。これは、表面の難燃合板が炭化層を形成して炎の貫通と熱の伝導を阻止したことによるが、8～10分以上の加熱を行なうと表面に亀裂、破損を生じて、発泡ポリスチレンの急激な熔融、分解、着炎に続き裏面の難燃合板を炭化、分解して難燃1級の加熱には耐えない。図中8分以後にみられる急激な表面温度の上昇は、難燃合板からポリスチレンに着炎し、ポリスチレン特有の発炎燃焼を示すことによるものである。これに対し表面にアルミニウム板を用いた場合 (panel No. 8)、加熱3～4分で発泡ポリスチレンは熔融を開始し、5分後には熱分解によつて激しい発煙しながら、その大半が飛散、消失して難燃3級の加熱にも耐えることができず、本実験に供した複合板のうちで最も防火性が低く、唯一つの不合格材料となつた。これはアルミニウム板の熱伝導率が180kcal/mh°Cと高く、低融点、低温度分解性のポリスチレンに直接火炎温度を伝えて、ポリスチレンが熔融、分解、着炎するからである。

以上の結果から、表面材にアルミニウム板のごとき熱伝導率の高い材料を用いた場合、その芯材には低温度で熔融、分解して引火する無処理の有機発泡材料を用いるのは好ましいことではなく、難燃化した木質材料、難燃合成発泡材やグラスファイバー、パーライトのような断熱性無機材料を複合することが望ましいといえる。

断熱、保温性にすぐれている軟質バガスボードは比重および熱伝導率ではインシュレーションボードに近く、形状はパーティクルボードに近い材料であるが、これを基材としてこの上に防火性接着剤で突板をオーバーレイしたパネル (panel No. 15) を加熱したときの温度変化はpanel No. 9 (Fig. 17) とほとんど同一の経移をたどるが、加熱7分前後に着炎して、ボードの表面温度が一時的に上昇する点で異なる。この現象は無処理の合板やパーティクルボードにみられるような発炎燃焼ではなく、加熱表面で軽く発炎するにとどまり、その後、すみやかに炭化層を形成して難燃1級の加熱に容易に耐える。バガスボード自身の熱伝導率が低いにもかかわらず、裏面温度はパーティクルボードより20°C前後高く、合板の2倍となる。これはバガスボード自体かなり空隙をもっていることと、加熱により劣化や分解が進行して、ボード内に無数の間隙や亀裂を生ずることによつて熱せられた空気が拡散、対流して裏面温度を高めているためと考えられる。この傾向は削片を用いたパーティクルボードにもみられ、同一厚さの合板パネルと比較した場合、両材料の裏面温度に顕著な差が現われる。このことはバガスボード、パーティクルボードのように、可燃性、易燃性の有機質パーティクルを接着剤により成板したものの一つの特徴といえようが、本実験の範囲ではその詳細は不明で、今後の研究を必要とする。

炭化時間、着炎時間など複合板表面の熱劣化に関する事項は、試験体がいずれも表面を同一の突板と防火接着剤でオーバーレイしているため、本実験の範囲では大きな差は認められない。

重量減少をTable 10に示す。これからわかるように、減少率最高のバガスボードが最低の無機質材料とともに難燃1級の加熱試験に合格し、また、木質系材料にみられるように可燃性、易熱分解性で重量減少率が20～25%であつても加熱表面に炭化層を形成するものはすぐれた防火性能を示すなど本実験の範囲ではパネルの重量減少率と防火性能の間に明確な関係は認められない。

加熱試験後におけるパネルをPhoto. 3に示す。

## 摘 要

市販の建築用平面材料を用いて、基本的な10数種の複合板を作り、熱伝導率、狂い、曲げ強度・弾性率および防火性を調べた。用いた平面材料は Table 1 の通りである。また、複合板の組合せと厚さの構成は Table 2 の通りである。

### 1) 熱伝導率

Fig. 1 の方法により測定した素材料と複合板の熱伝導率は Table 5 および Table 6 に示す通りである。これらの結果から次のことが結論される：

1—1) 複合板の熱伝導率は、コア材にペーパーハネカムを使用する場合を除けば、(2)式によつて素材料のそれから算出できる。

1—2) 適当な組合せと厚さの比を選ぶことによつて、複合板の熱伝導と比重の関係を、ある程度、変えることができる。

### 2) 狂 い

Fig. 4 に示す方法により、20°C の下で1面を 95% RH に、他を 45% RH に、500時間暴露し、しかる後、両面とも 45% RH の下で、500時間静置した場合の複合パネルの反りとねじれの経過を測定した結果は、Table 7 の通りである。これらの結果から、次のことが結論される：

2—1) サンドイッチ板の狂いは、そのフェイスおよびバックの材料の性質に支配されるところが多い。

2—2) 実験に用いたパネル中では、合板系のものが最も狂い易いが、反面、非常によい回復性をもっている。

2—3) 石膏板やパーライト板では、吸湿、放湿の初期に、異常な反りを示すが、これは水の吸・脱着に伴う温度変化に関係するものと思われる。

2—4) 石膏板の水分変化に伴う狂いは不安定で、回復性は極めて悪い。

2—5) 突板をはるることによつて、突板繊維方向の反りは直角方向の反りよりも幾分大きくなる。

### 3) 曲げ強度と弾性係数

複合パネルのせん断を伴う曲げ試験 (Fig. 10 (a)) と純粹曲げ試験 (Fig. 10 (b)) を行ない、コア材のせん断変形および破壊の状態を検討した。結果を要約すると下記の通りである：

3—1) 軽量コア材料をもつパネルの曲げ破壊は、しばしば、水平せん断破壊によつて生ずる。

3—2) 曲げ強度および比強度については、合板系のパネルは抜群にすぐれている。

3—3) 弾性係数については、アルミニウム板またはアスベストセメント板を用いたパネルがすぐれており、とくにアルミニウム・インシュレーションボードの組合せは合理的である。

3—4) コアの水平せん断剛性は次の順である。

$$P_{er}B > Pl > E_xB > PB > IB > H_c > B_aB > St$$

### 4) 防火性能

JIS A1321 によつて防火性能を試験した結果を Table 10 に示す。防火試験の結果、15種の

複合パネルについて、一般的に次のことがいえる：

4-1) 防火性能は不燃性材料および準不燃材料を基材にしたものおよび厚さ 22mm の難燃木質材料，バガスボードを基材にしたものが最もよい（難燃 1 級の30分加熱に耐える）。

4-2) 厚さ 22mm の無処理の合板，パーティクルボード，インシュレーションボード，ペーパーハネカムをそれぞれ芯材とし，難燃合板を表面材としたものは難燃 3 級以上の防火性能があり，火炎にさらされた場合，木質材料の炭化層はすぐれた耐火性を示す。

4-3) アルミニウム板を表面材とし，発泡ポリスチレンを芯材とした複合パネルの防火性能が最も劣る。

### Summary

Thermal conductivity, warp with moisture change, bending strength, modulus of elasticity and fire protectivity of fifteen composite panels (Table 2) made of basic combination of fifteen commercial sheet materials (Table 1) were determined and discussed.

#### 1) Thermal conductivity

Test results are shown in Table 5 and 6. From the results, following conclusions are conducted :

1-1) Thermal conductivity of composite panels can be computed from that of laminae, with practical sufficiency, except panels having paper honeycomb core.

1-2) The relation between thermal conductivity and apparent specific gravity can be changed to some extent by suitable selection of the combination and the thickness construction.

#### 2) Warp with moisture change

Face and back sides of composite panels were exposed to different climatic conditions (20°C, 95% RH/20°C, 45% RH) for five hundred hours, and then, to equal conditions (20°C, 45% RH/20°C, 45% RH) for five hundred hours. Bow and twist of panels measured during this adsorption and desorption cycle of moisture are shown in Table 7 and Figs. 6~9. From the results, following conclusions are conducted :

2-1) Warp in sandwich panels depends mainly on properties of the surface materials.

2-2) Panels having plywood base or surface twist most, but recover sufficiently.

2-3) Temporary and peculiar bowing of panels based on gypsum or perlite board observed at the beginning of adsorption and desorption of moisture seems to be a resultant feature of thermal expansion (or shrinkage) with moisture change.

2-4) Warp in the panel based on gypsum board is unstable and the recovery is smallest.

2-5) Decorative face veneer brings slight increase of bow of composite panels in the face grain direction.

#### 3) Bending strength and modulus of elasticity

Two kinds of bending test (Fig. 10a and 10b) were carried out and shear deformation and failure were discussed. The results are shown in Table 9 and the following conclusions are conducted :

3-1) In beams of the composite panels having light core, shear failure of the core takes place first.

3-2) Panels of aluminium or asbestos-cement surface have high modulus of elasticity and, above all, the combination of aluminium surfaces to wood fiber insulation core seems to be the most advantageous one.

3-3) Panels of plywood base or surface have the most excellent strength.

3-4) Resistance to the horizontal shear deformation of core materials of the composite panels is in the following order :

Perlite board>Plywood>Cemented excelsior board>Particle board>Wood fiber insulation board>Paper honeycomb>Bagasse particle board>Polystyrene foam.

4) Fire protectivity

Fire protectivity of the composite panels determined by means of the procedure of JIS A1321, was shown in Table 10. And the typical progress of temperature at the center points of heating face and rear face of the panels during test, is shown in Figs. 10~17. From the results, following conclusions are conducted :

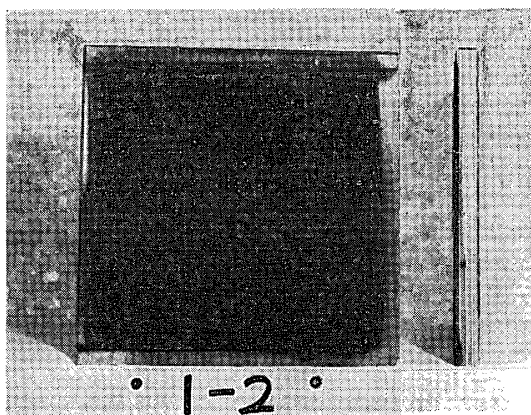
4-1) The best fire protectivity can be expected on the composite panels made of inorganic materials, and of nonflammable plywoods (or particle board) as the surface materials, and cemented excelsior board or wood fiber insulation board as the core materials of the composite panels.

4-2) Panels of untreated plywood or particle board as the base materials, have the fire protectivity of the second class incombustible as same as the panels of inorganic materials or nonflammable plywood as the face and back materials and wood fiber insulation or paper honeycomb as the core materials.

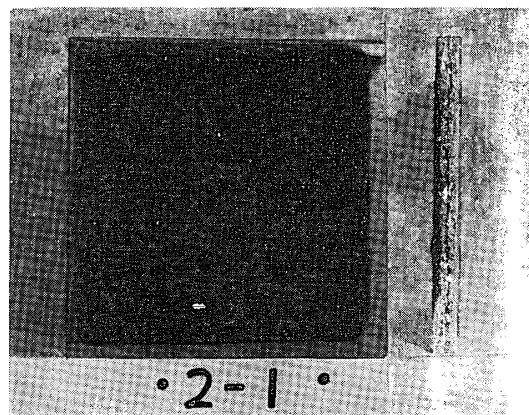
4-3) Charcoal layer which is produced on the heating surface of wooden panels brings the excellent protectivity against fire.

4-4) Panels composed of combinations of aluminium-polystyrene foam have the poorest fire protectivity.

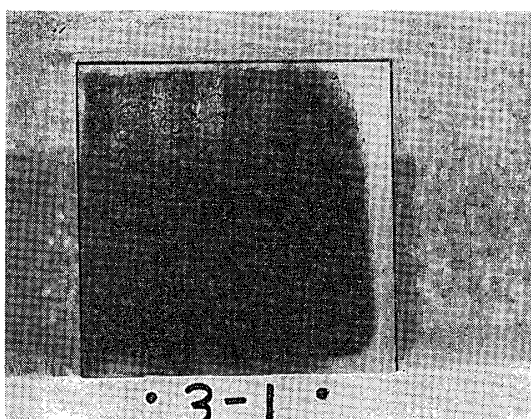
Photo. 3. Burnt feature of composite panel after fire protectivity test.  
(Results of the test are tabulated in Table 10).



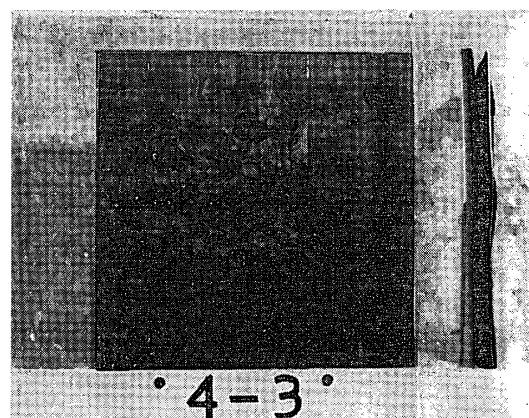
(a) Panel No. 1



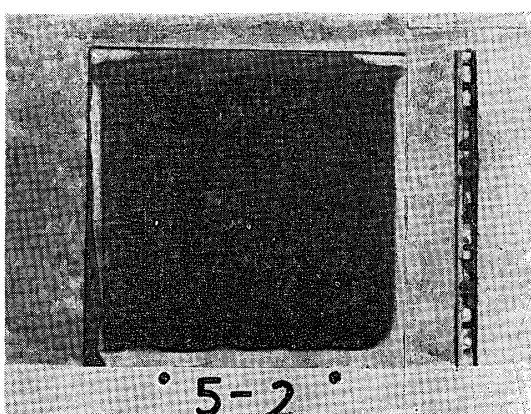
(b) Panel No. 2



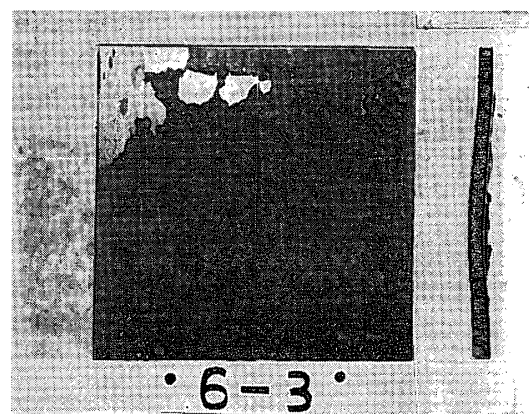
(c) Panel No. 3



(d) Panel No. 4



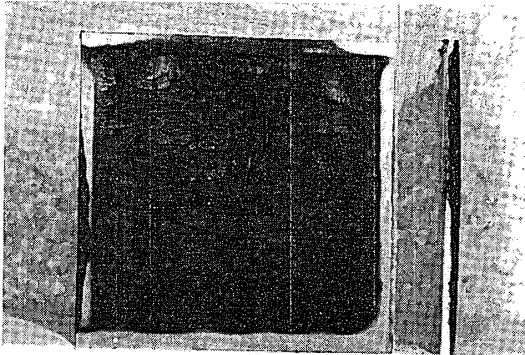
(e) Panel No. 5



(f) Panel No. 6

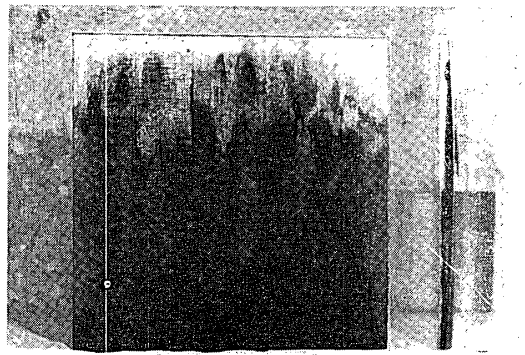
(to be continued)

(continued from Photo. 3)



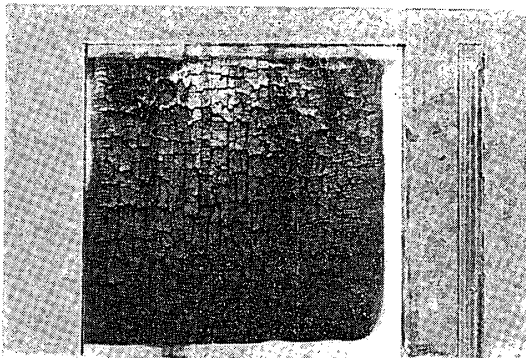
• 7-3 •

(g) Panel No. 7



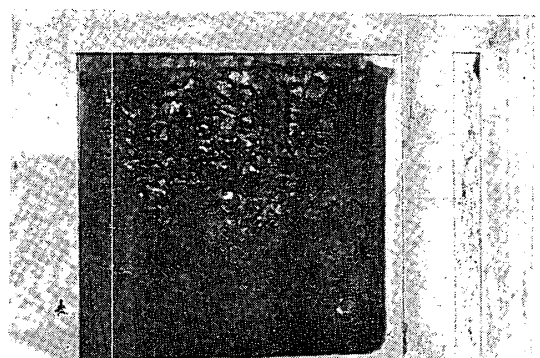
• 8-1 •

(h) Panel No. 8



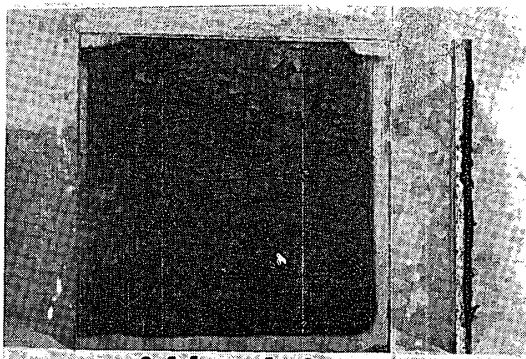
• 9-2 •

(i) Panel No. 9



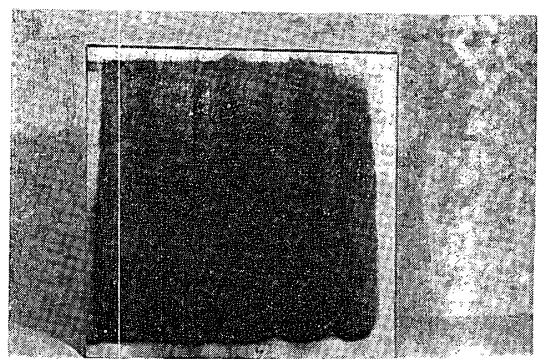
• 10-3 •

(j) Panel No. 10



• 11-1 •

(k) Panel No. 11



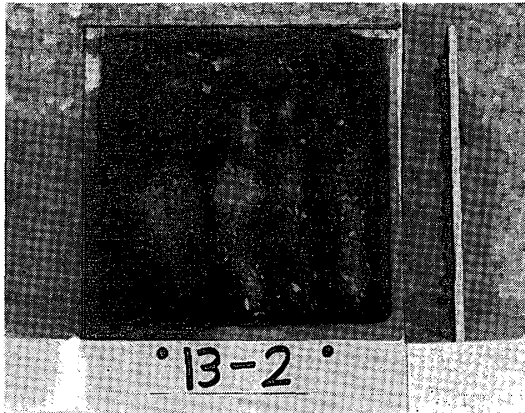
• 12-1 •

(l) Panel No. 12

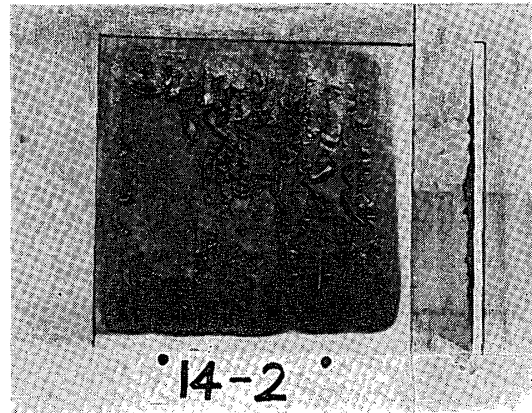
(to be cotnined)



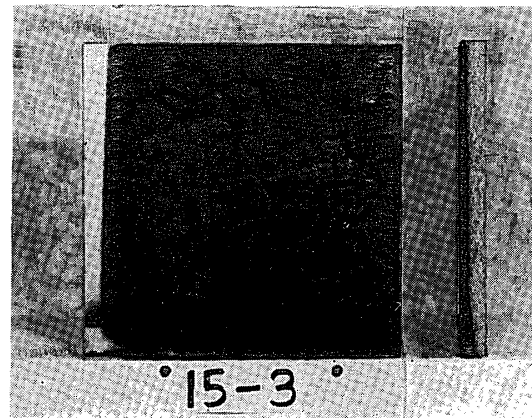
(continued from Photo. 3)



(m) Panel No. 13



(n) Panel No. 14



(o) Panel No. 15

## 文 献

- 1) 小茂島和生, 機械工学実験法, 日刊工業 (1963).
- 2) 栗野誠一, 葛岡常雄, 伝熱工学, 丸善 (1954).
- 3) 西原利夫ほか, 材料試験便覧, 丸善, 600, 1039~1042.
- 4) 北原覚一, パーティクルボード, 楨, 269 (1963).
- 5) 永井彰一郎, 新しい工業材料の科学, 金原出版, 185~192 (1964).
- 6) 藤井正一, 岡 樹生, 日本建築学会研究報告 53 計 (33) (1960).
- 7) 藤井正一, 建材の実際知識, 東洋経済新報, 86 (1966).
- 8) 青武雄, 永井彰一郎, 耐火物・断熱材, 月刊工業, 97 (1960).
- 9) 小原二郎ほか, 建築内装ハンドブック, 朝倉, 796 (1963).
- 10) 若杉松三郎, 保温材, 丸善, 578 (1951).
- 11) KÜBLER, H. u. A. GEISSEN, Holz als Roh-u. Werkst. 25, 429~435 (1967).
- 12) 北原覚一, 木材理学および加工実験書, 産業図書, (1956).
- 13) たとえば WANGAARD, F. F., For. Prod. J. 14, 256 (1964), KUENZI, E. W., U. S. Dept. Agric., For. Prod. Lab. Rept. No. 1829 (1951), No. 2161 (1959), No. 2156 (1960). など.
- 14) 上田恒司, 第18回日本木材学会大会要旨, 222 (1968).
- 15) 建築防火の法規解説, 228, 日本科学防火協会, (1965).
- 16) たとえば, BROWNE, F. L., U. S. Forest Prod. Lab. Rpt. 2136, (1958).
- 17) OLLIS, W. J., BUILDING MATERIALS, Dec. 7, (1967), SCHAFFER, E. L., U. S. Forest Serv. Res. Note, FPL-0145 (1966), SCHAFFER, E. L., Forest Serv. Res. Paper, FPL-69 (1967).
- 18) 建築防火の法規解説, 224, 日本科学防火協会 (1965).